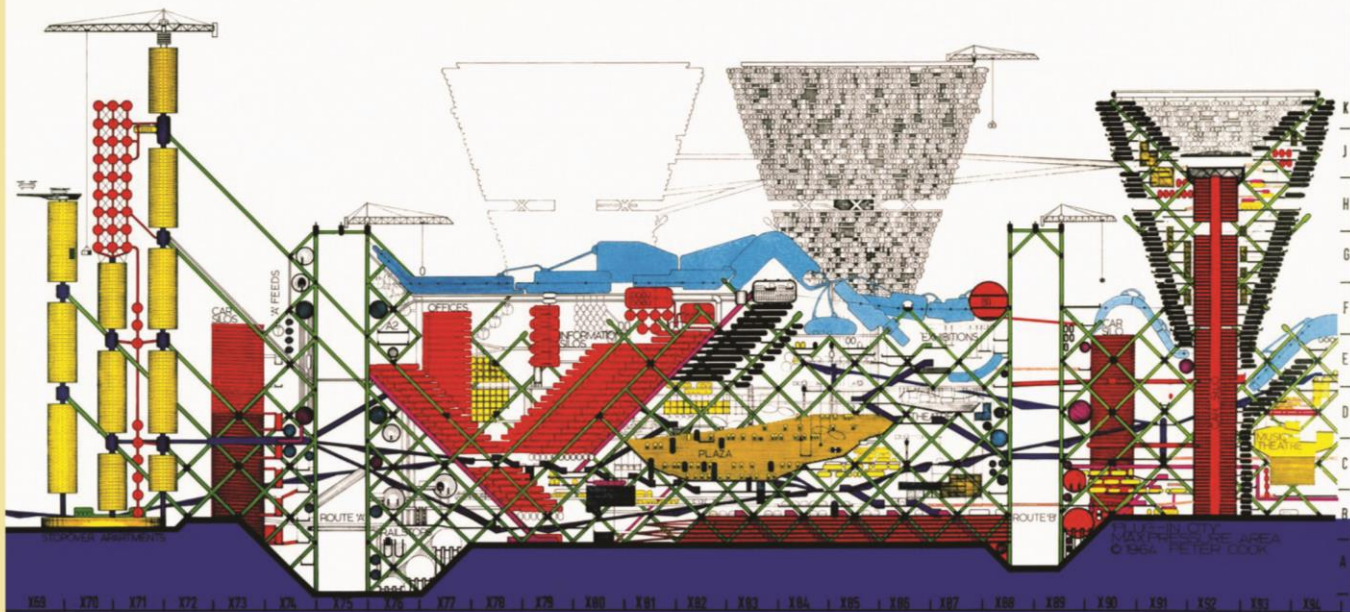
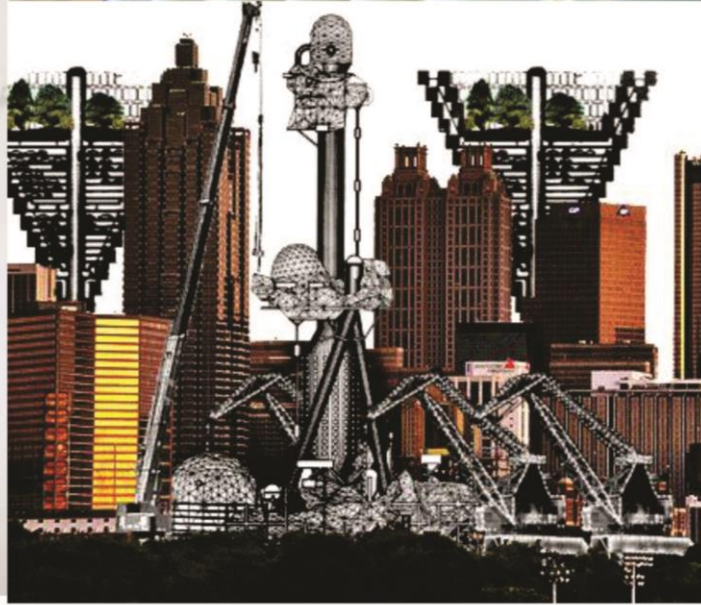


Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
EDITOR & COMPILADOR



DINÁMICOS

Metodología para uso de la Dinámica de Sistemas con el Simulador Vensim



Lic. Reynaldo Peralta García

Licenciado en Investigación Operativa - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Maestría en Docencia Superior – Universidad Ricardo Palma.
Doctorando en Gestión de Empresas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Experiencia en Formulación de Proyectos y Docencia Universitaria.
Correo electrónico: reynaldo.peralta@unmsm.edu.pe

Resumen

Cuando los experimentos en el mundo real son imposibles, la simulación se convierte en la principal forma de aprender efectivamente sobre la dinámica de sistemas complejos. Así la dinámica de sistemas, que en este artículo describe el uso del programa de simulación Vensim, puede aplicarse a diversos problemas, con el objetivo de comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema, lo que implica profundizar el conocimiento sobre cada elemento y sus relaciones. La diferencia entre modelos de predicción y modelos de gestión es que los modelos de predicción pretenden suministrar datos precisos acerca de la situación futura del sistema modelado; mientras que los modelos de gestión pretenden establecer que "la alternativa x es mejor que la alternativa y". La dinámica de sistemas elabora modelos de esta segunda clase. El propósito de este artículo es presentar la metodología de la dinámica de sistemas con el uso del simulador Vensim, que permitirá desarrollar habilidades para la aplicación de modelos para encontrar las mejores alternativas de decisión.

Palabras Clave: Modelo, simulación, dinámica de sistemas, Vensim

Abstract

When experiments in the real world are impossible, simulation becomes the main way to effectively learn about the dynamics of complex systems. Thus, the system dynamics described in the present article describe the use of the Vensim simulation program, which can be applied to several problems, in order to understand the structural causes that cause the system to behave. Relations. The difference between prediction models and management models that prediction models are intended to provide accurate data on the future state of the modeled system; While management models aim to establish that "the alternative is better than the alternative y". System Dynamics Produces the models of this second class. The purpose of this article is to present the methodology of the dynamics of systems with the use of the Vensim simulator, which allows the development of skills to use the models to find the best alternatives of the decision.

Keywords: Model, simulation, dynamics of systems, Vensim

1. Introducción

El propósito de este artículo es describir la metodología de la Dinámica de Sistemas, aplicable a una variada gama de problemas, preferentemente donde exista algún tipo de realimentación o retroalimentación, mecanismo donde desde un elemento de la salida de un sistema se redirecciona a otro elemento de entrada con el fin de controlar el comportamiento del sistema. Los ejemplos de la realimentación se pueden encontrar en la mayoría de los sistemas complejos, tales como ingeniería, arquitectura, economía, y biología y tiene su base en el proceso administrativo donde, el control es una etapa cualitativa y cuantitativa. La aplicación de dicha metodología permite hallar soluciones sencillas a problemas complejos, con el uso de modelos de simulación, disponibles en el mercado. En esta oportunidad describimos las bondades del software de simulación denominado Vensim. Esta es una herramienta gráfica de creación de modelos de simulación que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas. Vensim proporciona una forma simple y flexible de crear modelos de simulación, sean con diagramas causales o con diagramas de flujos, permitiendo establecer relaciones causales entre los elementos del sistema mediante la conexión de palabras con flechas; esta información se usa después por el Editor de Ecuaciones para crear el modelo de simulación. Se puede analizar el modelo teniendo en cuenta las causas y el uso de las variables, y también estudiando los ciclos relacionados con una variable. La Dinámica de Sistemas encuentra sus principales aplicaciones en entornos complejos y poco definidos, donde intervienen las decisiones del ser humano que suelen estar guiadas por la lógica. Un modelo de dinámica de sistemas es más explícito que un modelo mental y, por lo tanto, puede ser comunicado sin ambigüedad. Es importante señalar la diferencia existente entre dos clases de modelos, los modelos de predicción pretenden suministrar datos precisos acerca de la situación futura del sistema modelado. Por otra parte, los modelos de gestión pretenden básicamente establecer que "la alternativa x es mejor que la alternativa y"; en estos modelos no existe necesidad de tanta precisión ya que las comparaciones son igualmente útiles. La Dinámica de Sistemas elabora modelos de esta segunda clase.

En este artículo, se explica la metodología de la dinámica de sistemas con el uso del programa de simulación Vensim, concebida del texto "Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas" de Juan Martín García, quien ha obtuvo el grado de Doctor con la más alta distinción en España, Doctor Cum Laude con el tema "Modelo de gestión que permite analizar la dinámica de las empresas innovadoras y las políticas de gestión más eficaces". El autor es actualmente Director de ATC-Innova, empresa Distribuidora Oficial de Vensim, y además de docente de cursos virtuales, es Consultor internacional.

2. Objetivo

El objetivo principal de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento de un sistema.

Características:

- a) El comprender el comportamiento de un sistema implica profundizar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo. No se pretende predecir el comportamiento futuro; sino estudiar el sistema y ensayar diferentes políticas sobre el modelo; así se enriquecerá el conocimiento del mundo real, comprobándose la consistencia de nuestras hipótesis y la efectividad de las distintas políticas.

- b) El enfoque a largo plazo o período de tiempo lo suficientemente amplio, permite el poder observar todos los aspectos significativos de la evolución del sistema. Sólo en una escala de tiempos suficientemente amplia podrán verse las tendencias de comportamiento fundamentales. A veces, los resultados de determinadas políticas no son óptimos porque el horizonte temporal de la toma de decisiones fue demasiado corto o porque faltó una perspectiva de sistema en el planteamiento del problema. En estos casos es útil conocer las consecuencias globales que a largo plazo, tendrían las decisiones tomadas en el momento actual, lo cual puede conseguirse de manera más tangible a través de un modelo adecuado.
- c) La Dinámica de Sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso de los elementos del sistema. Este análisis permite extraer la lógica interna del modelo, y con ello intentar un conocimiento de la evolución a largo plazo del sistema. Debe notarse que en este caso el ajuste del modelo a los datos históricos ocupa un lugar secundario, siendo el análisis de la lógica interna y de las relaciones estructurales en el modelo los puntos fundamentales de la construcción del mismo.

3. Definiciones

- **Sistema**

Entendemos por "Sistema" un conjunto de elementos independientes con interacciones estables entre sí. Para comprender el comportamiento de un sistema es necesario definir los elementos que intervienen en el mismo y las posibles interrelaciones que existen entre ellos. Un buen método para empezar a definir un sistema es escribir el problema en el centro de una hoja en blanco, añadir a su alrededor los aspectos relacionados directamente con el problema, y alrededor de éstos últimos los otros aspectos relacionados con ellos, y por lo tanto que se relacionan indirectamente con el problema. Ese será el sistema que vamos a estudiar para plantear soluciones al problema.

- **Modelo**

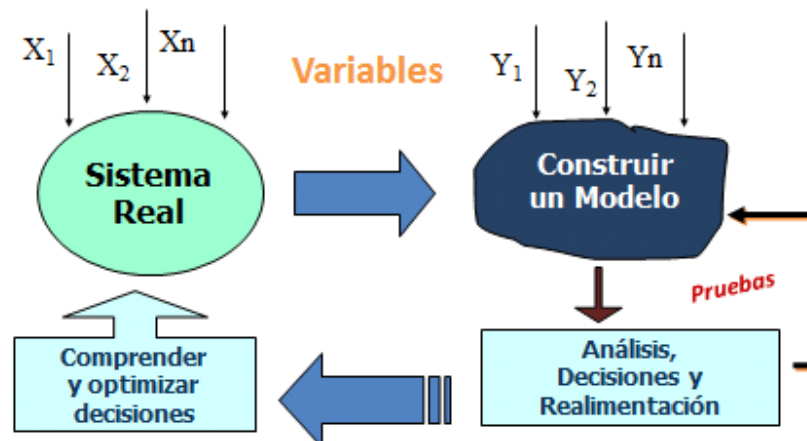
Un modelo debe de contener el menor número de elementos posible, que nos permita representar adecuadamente una realidad y permita realizar la simulación para explicar al final cuál de las propuestas de actuación que hemos estudiado es más eficaz para solucionar el problema que nos plantean. Los modelos se suelen crear como un acordeón, primero se crea un modelo pequeño, con pocos elementos, que se va ampliando y perfeccionando, luego en una fase posterior se suprimen aquellos elementos que no intervienen decisivamente en el problema. En la construcción del modelo se suceden varias fases de expansión y simplificación del modelo. Añadiendo y suprimiendo elementos El tamaño final del modelo ha de ser tal que podamos explicar sus aspectos esenciales en 10 minutos.

- **Simulación**

El término simulación emana de la unión de dos componentes léxicos latinos: la palabra "similis", que puede traducirse como "parecido", y el sufijo "-ion", que es equivalente a "acción y efecto". Para el Diccionario Enciclopédico Larousse Editorial, S.L la simulación es la reproducción de un fenómeno real mediante otro más sencillo y más adecuado para ser estudiado; también se considera como la representación de un sistema dinámico de manera que permita su tratamiento en el ordenador. Por otro lado se considera que la simulación es el arte y ciencia de crear una representación o sistema para los propósitos de experimentación y evaluación. En la figura siguiente se ilustra el concepto, estableciendo que un sistema real está vinculado con variables internas y externas, situación que es representada mediante un modelo, en el cual se

pueden realizar ensayos o pruebas, para analizar diversas opciones de comportamiento de las variables, dando lugar a la retroalimentación; lo cual permitirá contar con mayor experiencia cuando se trate de enfrentar una situación real.

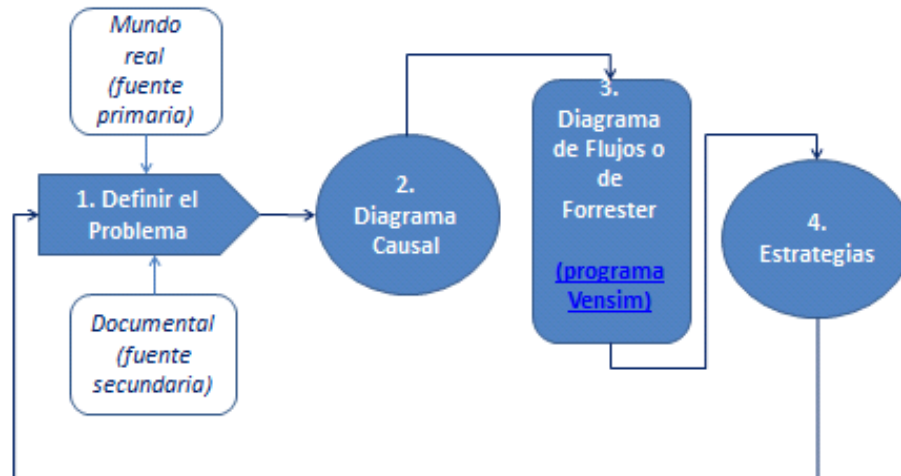
Figura 1: Enfoque de la simulación



4. Metodología

A continuación se ilustra el enfoque metodológico para la aplicación de la Dinámica de Sistemas, para lo cual se contempla cuatro etapas, las cuales son abordadas luego.

Figura 2: Enfoque metodológico



Definir el problema

En primer lugar hay que identificar el problema con claridad, y describir los objetivos del estudio con precisión. Aunque sea obvio, es muy importante una definición correcta del problema real ya que todas las etapas siguientes gravitarán sobre ello.

Una vez definido el núcleo del problema, se ha de completar su descripción en base a la aportación de conocimientos de fuentes primarias y secundarias. El resultado de esta fase ha de ser una primera percepción de los "elementos" que tienen relación con el problema planteado, las hipotéticas relaciones existentes entre ellos, y su comportamiento histórico.

La llamada "Referencia Histórica" recoge el comportamiento histórico de los principales "elementos" que creemos que intervienen en el problema, cuantificados cuando ello sea posible. Es la plasmación gráfica y numérica de la descripción verbal del problema.

Una vez definido el problema se apreciará que hay muchos aspectos, o elementos, relacionados con el mismo, directa o indirectamente, y a la vez relacionados entre sí, de forma no necesariamente clara y transparente; dichos elementos forman el Sistema y así analizaremos el sistema.

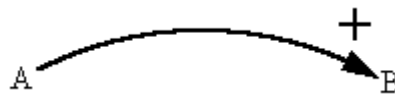
Como herramientas que contribuyan a definir el problema y el análisis de causalidad se consideran al árbol de problemas y el diagrama de Ishicawa, entre otros.

Diagrama causal

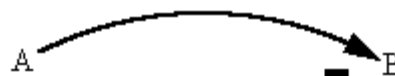
Es un diagrama, que representa a un conjunto de elementos que forman parte de un problema (sistema), y que permite explicar el comportamiento o la relación existente entre dichos elementos, en algunos casos de retroalimentación.

Para elaborar un diagrama causal, son necesarias las siguientes pautas:

- Identificar las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, que permita reproducir la referencia histórica.
- Elaborar la representación gráfica de los elementos y sus relaciones.
- Las diferentes relaciones, entre las variables afectadas, se representan por flechas.
- Las flechas van acompañadas de un signo (+ o -) que indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Un signo "+" quiere decir que un cambio en la variable origen de la flecha producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino. El signo "-" simboliza que el efecto producido será en sentido contrario. Así cuando un incremento de A, produce un incremento de B, o bien una disminución de A provoca un aumento de B, tendremos una relación positiva, lo representamos:



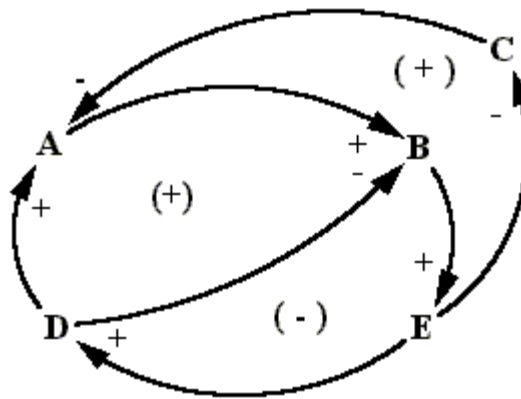
Y cuando un incremento de A, produce una disminución de B, o bien una disminución de A provoca un aumento de B, tendremos una relación negativa, lo representamos:



- Construir varias versiones, que poco a poco nos vayan aproximando a la complejidad del modelo.

Bucles

Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, retroalimentación o feedback. Los bucles se definen como "positivos" cuando el número de relaciones "negativas" es par, y "negativos" si es impar. Los bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida.

Figura 3: Bucles

De la figura anterior, son bucles los formados por las letras ABEDA, DBED y también ABECA

Elementos claves

En un sistema existen varios elementos clave, y no suelen variar a lo largo del tiempo. Podemos utilizarlos para conseguir grandes cambios en el sistema con un esfuerzo mínimo. Pueden desencadenar un comportamiento violento del sistema.

Cada sistema tiene varios elementos clave, no son evidentes ni fáciles de identificar.

Propuesta de Jay Forrester para evitar grandes esfuerzos, para lograr un objetivo, en la dirección equivocada, en especial en el ámbito empresarial:

- 1- Sea cual sea el problema que se ha presentado es necesario conocer como es el sistema por dentro, como toma las decisiones, como opera. No dejarse llevar por las indicaciones que apuntan hacia aspectos coyunturales o superficiales, por muy visibles que sean.
- 2- A menudo un pequeño cambio, en una o unas pocas políticas puede solucionar el problema fácil y definitivamente.
- 3- Los elementos clave suelen ser descartados o no relacionados con el problema que analizamos. Son raramente objeto de atención o discusión, y cuando se le identifica, nadie puede creer que se halle relacionado con el problema.
- 4- Si ocurre que un elemento clave ha sido identificado previamente por alguien, no es extraño que se haya actuado sobre el en la dirección equivocada, intensificando gravemente el problema

Diagrama de flujos o de Forrester

El Diagrama de Flujos, también denominado Diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la Dinámica de Sistemas. Es una traducción del Diagrama Causal a una terminología que permite la escritura de las ecuaciones en el ordenador para así poder validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad.

Pasos a seguir:

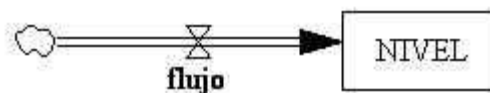
- 1- Hacer una fotografía mental al sistema y lo que salga en ella (personas, km², litros, animales,...) eso son Niveles.
- 2- Buscar o crear unos elementos que sean "la variación de los Niveles", (personas/día, litros/hora, ...) y esos son los Flujos.
- 3- El resto de elementos son las Variables Auxiliares.

Los "Niveles" son aquellos elementos que nos muestran en cada instante la situación del modelo, presentan una acumulación y varían solo en función de otros elementos denominados "flujos". Las "nubes" dentro del diagrama de flujos son niveles de contenido inagotable. Los niveles se representan por un rectángulo.



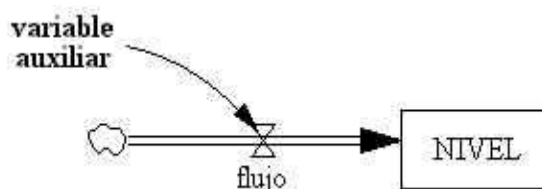
Ejemplos: personas, km², litros,...

Los "flujos" son elementos que pueden definirse como funciones temporales. Puede decirse que recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema, determinando las variaciones de los niveles.



ejemplos: personas/día, km²/año,...

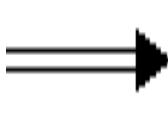
Las "variables auxiliares" y las "constantes", son parámetros que permiten una visualización mejor de los aspectos que condicionan el comportamiento de los flujos.



ejemplo: densidad, vida media

Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales materiales". Por otra parte existen los llamados "canales de información", que transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan.

Materiales



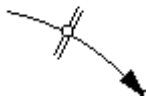
Informaciones



Los "retardos", que simulan los retrasos de tiempo en la transmisión de los materiales o las informaciones. En los sistemas socioeconómicos es frecuente la existencia de retardos en la transmisión de la información y de los materiales y tienen gran importancia en el comportamiento del sistema.

Para los retardos de material existen las funciones DELAY1 y SMOOTH. Para los de información se utilizan DELAY3 y SMOOTH3. Los de primer orden frente a una entrada escalón, responderán con una curva exponencialmente asintótica, mientras que un retardo de tercer orden conduce a una curva sigmoideal. En cierta forma los retardos de información actúan como filtros alisadores de la variable de entrada.

Retardo



5. Simulación en ordenador

En esta etapa se escriben las instrucciones o ecuaciones, concisas para que el ordenador interprete nuestra visión del sistema.

Existen en el mercado diferentes paquetes de software, utilizables en PC's, que no requieren conocimientos informáticos para su utilización y que se adaptan bastante bien a las necesidades de los usuarios, sean estudiantes, profesionales, etc. Los lenguajes o marcas más utilizadas son (por orden alfabético) DYNAMO, ITHINK, POWERSIM, STELA y VENSIM. En esta fase hay que dar valores numéricos a las Variables del sistema, a las Funciones y a las Tablas. Es este uno de los muchos aspectos que diferencian a la Dinámica de Sistemas de la mayor parte de los métodos tradicionales de modelización. Así, por ejemplo, en econometría, una gran parte del esfuerzo total de la investigación se dedica a determinar de manera precisa el valor de los parámetros que caracterizan al sistema objeto de estudio. En Dinámica de Sistemas, los parámetros se calculan con un grado de aproximación tal que permita que el modelo cumpla su propósito.

Por otra parte, y esto es importante, nuestro propósito es modificar el estado del sistema porque existe un problema que estamos analizando. Por este motivo la historia pasada sólo es un punto de referencia ya que no existe historia para el nuevo sistema que vamos a diseñar como transformación del anterior. Es decir, los datos históricos son muy importantes cuando abordamos un sistema que no queremos o no podemos transformar, como por ejemplo en la previsión meteorológica, pero ese no es nuestro caso. Nosotros queremos transformar el sistema, y cuando lo hacemos la serie histórica no tiene continuidad.

Se puede partir de unos valores aproximados fin de obtener una primera idea del comportamiento del modelo. Más tarde, mediante los análisis de sensibilidad se podrá identificar al relativamente pequeño conjunto de parámetros cuyos valores alteran significativamente el comportamiento del modelo o las respuestas del mismo a diferentes políticas. De esta forma, descubriremos aquellos parámetros que conviene calcular de un modo más exacto. Son obvias las ventajas en cuando a ahorro de esfuerzo y tiempo que este método supone.

6. Comportamiento del modelo

Una vez introducidas las ecuaciones en el ordenador podemos obtener como salida la evolución en el tiempo de los parámetros que le hayamos indicado.

También podemos efectuar una comparación del comportamiento del modelo y la realidad, ya que la salida facilitada por el modelo nos permite ver la certeza de nuestras hipótesis y, en base a la diferencia entre el modelo y la realidad, se impone reconsiderar las hipótesis iniciales y hacer los ajustes al modelo que sean necesarios.

Un sistema dinámico posee diferentes aspectos que son susceptibles de ser sometidos a evaluación, tales como:

- Su capacidad para reproducir los datos históricos del sistema modelizado bajo condiciones normales y extremas.
- La aceptabilidad de las suposiciones hechas al definir el modelo.
- La plausibilidad de los valores numéricos adoptados para los parámetros.

Por supuesto, el primer criterio sólo tendrá importancia cuando se verifiquen también los demás, pues existirán infinitos modelos capaces de reproducir adecuadamente los datos históricos del sistema sin estar relacionados con los mecanismos que forman la estructura del mismo.

El juicio sobre la forma en que un modelo satisface los criterios anteriores no debe restringirse a la consideración de la información cuantitativa disponible ya que la mayor parte de los conocimientos relevantes sobre los sistemas sociales están en forma cualitativa, en manos de expertos en el campo que nos movemos. No debemos olvidar que un modelo que satisfaga los diferentes test de evaluación no es una descripción incontestable de la realidad ni el único modelo.

Partiendo de unas determinadas condiciones iniciales, se determinarán las evoluciones de las distintas variables del modelo durante el horizonte temporal elegido para la evaluación, registrándose dichas evoluciones mediante gráficos. La comparación de estos gráficos con sus correspondientes datos históricos servirá para comprobar si se satisfacen las características principales del comportamiento real.

A la vista de esta evaluación se pasará a perfeccionar el modelo, corrigiendo los defectos observados e introduciendo las mejoras que se consideren convenientes. Con esta reformulación del modelo se procederá a una nueva simulación con el mismo y un posterior análisis y evaluación, siguiendo este proceso hasta que se considere que el modelo creado satisface suficientemente los objetivos fijados, o bien que el fruto resultante de las modificaciones que pudiésemos introducir no compensaría el esfuerzo realizado.

La primera simulación se hace, según dijimos, utilizando unos valores de parámetros y condiciones iniciales que no tienen por qué ser exactos. A veces, en ausencia de datos, estos valores se basarán en las opiniones de expertos en el campo del sistema estudiado, lo cual hará que no sean excesivamente rigurosos, pero con mucha frecuencia igualmente útiles.

7. Estrategias

En esta fase se analizan los resultados y se evalúan en base a la simulación el impacto de las políticas o decisiones que nos llevarán a la solución del problema planteado.

Para ello, el modelo final ha de ser relativamente simple, de forma que habrá que proceder a crear los agregados necesarios y realizar las simplificaciones posibles al objeto de que el modelo resultante sea comprensible para los receptores del modelo y manejable para los que han de utilizarlo. Además del elevado esfuerzo y tiempo que requiere la obtención de un modelo complejo este puede ser tan complicado como la realidad que representa, dificultando la comunicación y prestando muy poca ayuda a la solución del problema planteado.

Es conveniente aclarar que, a pesar de que un modelo de Dinámica de Sistemas tiene la apariencia de un complejo conjunto de ecuaciones matemáticas que puede hacer pensar en la posibilidad de una perfecta previsión del futuro, no es esto lo que se persigue sino, más bien, aumentar nuestro conocimiento acerca del sistema estudiado así como crear un instrumento útil para el análisis de políticas, las cuales deberán ser juzgadas a partir de las tendencias globales que generan.

Esta diferencia entre apariencia del modelo y la intención del mismo suele falsear la opinión del que lo utiliza, el cual piensa con frecuencia que dispone de un instrumento distinto al que posee en realidad. Esta posibilidad se reduce cuando el modelo es contemplado como lo que es en realidad: la representación explícita de un modelo mental.

8. Conclusiones y recomendaciones

- a) Un factor a considerar en la construcción de modelos, es la dosis de subjetividad. En el caso particular de la Dinámica de Sistemas, la creación del Diagrama Causal representativo de las diferentes interacciones entre las variables es una de las etapas más subjetivas, pero no es la única. Así también puede existir subjetividad a la hora de cuantificar y utilizar los datos disponibles, al interpretar los resultados, etc. La subjetividad que entraña el proceso de modelización no es en realidad un factor negativo, ya que es imposible estudiar un sistema social de manera absolutamente objetiva.
- b) Construir un modelo es un proceso largo y costoso, que no se justifica si hay otros caminos más sencillos de obtener el mismo resultado. Estos otros caminos son básicamente dos: la estadística y la intuición:
 - La estadística o los métodos de cálculo numérico, son muy útiles para solucionar muchos problemas en los que: 1) hay abundantes datos históricos, y 2) podemos suponer que la realidad permanecerá estable. Por ejemplo, si quieres saber cuántos coches pasarán hoy por la puerta de tu casa, sólo has de disponer de los suficientes datos históricos y, si la calle no ha cambiado, podrás hacer una buena aproximación.
 - En muchos problemas intuimos acertadamente la solución como resultado de nuestra experiencia o conocimientos. La intuición es barata y rápida, y por lo tanto no menospreciarla.

Frente a las opciones anteriores y sólo cuando no podamos aplicar con garantía ninguna de las alternativas anteriores, nos plantearemos construir un modelo de simulación.

Las conclusiones extraídas de un modelo serán válidas, con el supuesto de que el modelo aceptable en el momento actual, siempre que no cambie la estructura fundamental del sistema o las circunstancias exteriores que pueden influir en sus partes sensibles.

- a) Para que un modelo continúe siendo útil a través del tiempo se hace necesaria su revisión periódica. Se podrán introducir así alteraciones significativas que se hayan producido en el sistema representado por el modelo.
- b) Para obtener el software Vensim, ingresar a la página web <http://www.vensim.com> y siga las instrucciones. Elija la versión de prueba, gratuita, Vensim PLE (Evaluation or Educational). Usualmente esta empresa lanza nuevas versiones de software cada año con mejoras y alguna nueva prestación adicional.

9. Literatura citada

- Fuchs, H.** Modeling of uniform dynamical systems. Orell Fussli Verlag AG. Zurich. 2002.
- López-Díaz Delgado, E.** Iniciación a la simulación dinámica. Ed. Ariel Economía Madrid.
- Senge, P.** La quinta disciplina. Ed. Granica. Barcelona. 1999
- Sterman, J. D.** Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. NY: McGraw-Hill Higher Education. 2000.
- Von Bertalanffy, L.** General Systems Theory: Foundations, Development, Applications. NY: George Braziller, Inc. 1998.