

**Teoría y ejercicios prácticos  
de Dinámica de Sistemas**

**Juan Martín García**

Vamos a describir a continuación un enfoque para interpretar la realidad. Muy posiblemente no existe la que podríamos llamar "forma correcta" o "la mejor manera" de observar la realidad, puesto que es imposible señalar a una sola dirección como la mejor o la más correcta. Pero sí es cierto que vamos a conocer un enfoque nuevo para muchas personas. Y esta es una manera útil de abordar los problemas que se plantean en este inicio de milenio, a la vista de los retos que hemos de abordar: hambre, pobreza, degradación ambiental, guerras, ... ya que no parece que avancemos gran cosa con las formas tradicionales de enfocar estos problemas.

Este enfoque tiene varios nombres, usaremos aquí el de "dinámica de sistemas" conscientes de que la palabra "sistemas" tiene diversos significados pero intentando clarificar cual es el que nosotros tomamos a través de los comentarios y ejemplos posteriores.

A modo de introducción veremos las características de los modelos que abordan el análisis del mundo como un todo, como un sistema global. Describiremos las características de la situación en el mundo desde la perspectiva de los elaborados modelos que abordan esta visión.

## 2.1. La Dinámica de Sistemas

Todos somos cada vez más conscientes de que vivimos en una realidad muy compleja y cambiante, y que este fenómeno se acentúa año tras año. Para tomar las decisiones que continuamente se nos requieren, acudimos a los modelos mentales. No obstante estos modelos mentales no siempre nos acercan a la solución del problema ya que aún en los casos más sencillos la solución puede ser lo que Jay Forrester llama "contraintuitiva". Un sencillo ejemplo lo tenemos en la imagen siguiente donde vemos como una lupa amplía el texto, pero al alejarla del papel en vez de seguir aumentando el texto, lo invierte.



Sin ir más lejos el paseo por un Museo de la Ciencia con nuestros hijos nos puede deparar algunos casos en los que tendremos que explicarles, por ejemplo, porqué de los dos chorros que salen de un depósito con agujeros a diferente altura, el agua que cae más lejos es la que sale del agujero que está mas cerca del suelo.

Como indica al respecto Ludwig von Bertalanffy , para quien desea hacer ciencia y sólo ciencia, cualquier otra pregunta posterior carece de sentido. "Quod non est in formula non est in mundo". Tal es la única posición legítima para la ciencia. No obstante, si queremos ir más allá en nuestra comprensión nos queda solamente una analogía que nos permite concebir ese algo que es irrelevante para el físico; nos queda la analogía con la única realidad que conocemos directamente, la realidad de nuestra experiencia inmediata.

Toda interpretación de la realidad es, empleando la expresión kantiana, una aventura de la razón. Por ello hay sólo una alternativa posible: o bien renunciamos a cualquier interpretación en torno a la esencia de las cosas, o si intentamos una interpretación, debemos ser conscientes de su carácter analógico, ya que no tenemos la menor prueba de que el mundo real sea de la misma naturaleza que el que nos ofrece la experiencia interior.

En las frecuentes ocasiones en las que nos enfrentamos a una realidad con un número de parámetros limitados y sobretudo cuantificables, acudimos a los modelos formales, los cuales nos permiten actuar con razonables probabilidades de éxito. Ahora bien, ante situaciones complejas, con un incierto número de parámetros difícilmente cuantificables, podemos acudir a un tipo de modelos menos formales pero que nos permitan obtener una visión más estructurada del problema, sus aspectos más críticos, y posibles vías de solución.

Al respecto dice Lynda M.Applegate, que los actuales ordenadores están diseñados para tratar información de un modo secuencial, instrucción por instrucción. Esta aptitud funciona bien, si el problema o la tarea se estructura y puede subdividirse en una serie de etapas. No funciona bien para tareas complejas, no estructuradas, que implican intuición, creatividad y discernimiento.

La Dinámica de Sistemas encuentra sus principales aplicaciones en estos entornos complejos y poco definidos, donde intervienen las decisiones del ser humano que suelen estar guiadas por la lógica. Recordemos que la ciencia actual se basa sobre fenómenos que han de ser medibles y reproducibles. Pues bien, como conocen los especialistas en marketing, las personas se comportan también según unas determinadas leyes, bastante bien medibles y reproducibles, que son las leyes del mercado (más demanda origina precios más altos, etc.).

A propósito de estos aspectos indica Javier Aracil en su libro "Introducción a la dinámica de sistemas" , que los modelos para ordenador pueden hacer algo que les está negado a los modelos mentales: pueden mostrar las consecuencias dinámicas de las interacciones entre componentes del sistema. Cuando se trata de extraer las consecuencias de ciertas acciones, empleando modelos mentales, se corre el peligro de extraer unas conclusiones erróneas. La intuición no es fiable cuando se abordan problemas complejos.

Una posible razón de ello es que se tiende a pensar en términos de relaciones causa a efecto unidireccionales, olvidando la estructura de retroalimentación que ciertamente existe. Al preparar un modelo para un ordenador hay que considerar cada paso separadamente. La imagen mental que se posee del sistema debe desarrollarse y expresarse en un lenguaje que pueda ser empleado para programar la máquina. Normalmente cualquier imagen mental que sea consistente y explícita, referida a cualquier sistema, puede expresarse así. Las imágenes mentales que se tienen de los sistemas reales son el resultado de experiencias y observaciones; la formulación explícita de estas experiencias en un programa para ordenador obliga a examinar, formalizar y precisar las imágenes mentales y así contribuir a una mayor comprensión a través de diferentes perspectivas.

Los modelos matemáticos, programables en un ordenador, están enunciados de una manera explícita; el lenguaje matemático que se emplea para la descripción del modelo no deja lugar a la ambigüedad. Un modelo de dinámica de sistemas es más explícito que un modelo mental y, por lo tanto, puede ser comunicado sin ambigüedad. Las hipótesis sobre las que se ha montado el modelo, así como las interrelaciones entre los elementos que lo forman, aparecen con toda claridad en el mismo, y son susceptibles de discusión y revisión. Por ello la proyección futura del modelo puede hacerse de forma completamente precisa.

**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.**

Como vimos anteriormente, entendemos por "Sistema" un conjunto de elementos independientes con interacciones estables entre si. El primer paso para comprender el comportamiento de un sistema será lógicamente definir los elementos que intervienen en el mismo y las posibles interrelaciones que existen entre ellos. El dicho aristotélico de que el todo es más que sus partes cobra aquí un especial significado.

El punto de vista de la Dinámica de Sistemas es radicalmente diferente al de otras técnicas aplicadas a la construcción de modelos de sistemas socioeconómicos, como la econometría. Las técnicas econométricas, basadas en un enfoque conductista, emplean los datos empíricos como base de los cálculos estadísticos para determinar el sentido y la correlación existente entre los diferentes factores. La evolución del modelo se realiza sobre la base de la evolución pasada de las variables denominadas independientes, y se aplica la estadística para determinar los parámetros del sistema de ecuaciones que las relacionan con las otras denominadas dependientes. Estas técnicas pretenden determinar el comportamiento del sistema sin entrar en el conocimiento de sus mecanismos internos. Así existen asesores para invertir en Bolsa denominados "chartistas" que utilizan modelos que analizan las montañas y valles que describen las cotizaciones de una acción, los ciclos alcistas y bajistas, y diseñan estrategias para minimizar el riesgo de pérdidas. No pretenden "conocer" porqué la cotización de una empresa sube o baja en función de sus nuevos productos o nuevos competidores, sino pronosticar la evolución de una cotización para recomendar comprar, mantener o vender una determinada acción.

En cambio, el objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar 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.

Como características diferenciadoras de otras metodologías puede decirse que no se pretende predecir detalladamente el comportamiento futuro. El estudio del sistema y el ensayo de diferentes políticas sobre el modelo realizado enriquecerán el conocimiento del mundo real, comprobándose la consistencia de nuestras hipótesis y la efectividad de las distintas políticas.

Otra característica importante es su enfoque a largo plazo, entendiendo por tal un período de tiempo lo suficientemente amplio como para 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. No hay que olvidar que, 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.

La evolución a largo plazo podrá ser comprendida únicamente si se identifican las principales causas de los posibles cambios, lo cual es facilitado por una correcta selección de las variables. Idealmente, los límites del sistema deberán incluir todo el conjunto de mecanismos capaces de explicar las alteraciones importantes de las principales variables del sistema a través del amplio horizonte temporal utilizado.

Así pues, 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.

## 2.2. Identificar el problema

### ► ¿Cuál es el problema?

Vamos a aprender una metodología que es útil para construir modelos de simulación que han de permitir decidir cual de varias propuestas es más eficaz para solucionar el problema planteado, así pues éstos son modelos de gestión, no predictivos.

**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. También

es de gran utilidad para ajustar la inversión de tiempo y dinero aplicados a la creación del modelo.

Una vez definido el núcleo del problema, se ha de completar su descripción en base a la aportación de conocimientos del tema por parte de los expertos, documentación básica sobre el tema, etc. El resultado de esta fase ha de ser una primera percepción de los "elementos" que tienen relación con el problema planteado, las h-i-p-o-t-é-t-i-c-a-s 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.

Es conveniente preguntarse ¿hace falta construir un modelo de simulación para encontrar una acción eficiente a mi problema?. Esta pregunta es importante.

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 cuantos 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.

- Tu intuición te ha llevado hasta donde estás, y por lo tanto no la menosprecies. En muchos problemas ya intuimos acertadamente la solución como resultado de nuestra experiencia o conocimientos. La intuición es barata y rápida, sigue usándola siempre que puedas.

Sólo cuando no podamos aplicar con garantía ninguna de estas dos opciones anteriores, nos plantearemos construir un modelo de simulación.

Una vez definido el problema veremos 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. Estos elementos forman el Sistema. **Vamos a estudiar la realidad como un Sistema.**

### 2.3. Definir el Sistema

#### ► ¿Qué es un Sistema?

**Un sistema es un conjunto de "elementos" relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos.** Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema, y sólo estos, formarán el sistema que vamos a estudiar.

**Para estudiar un sistema hemos de conocer los elementos que lo forman y las relaciones que existen entre ellos.**

En nuestra usual forma de análisis nos solemos centrar en las características de los elementos que componen el sistema, no obstante, para comprender el funcionamiento de sistemas complejos es necesario prestar atención a las relaciones entre los elementos que forman el sistema.

Es imposible entender la esencia de una orquesta sinfónica únicamente prestando atención a los músicos y a sus instrumentos, es la coordinación que tienen entre sí la que produce la música hermosa. El cuerpo humano, un bosque, una nación, el ecosistema de una barrera de coral son mucho más que la suma de sus partes.

Como dice un antiguo proverbio Sufi: Tu puedes pensar porque entiendes el concepto de "uno", y de ahí entiendes "dos", que es "uno" y "uno", pero para ello además has de entender el concepto "y". Y así, por ejemplo, en el problema del tráfico confluyen muchos elementos relacionados entre sí: número de habitantes, número de coches, precio de la gasolina, aparcamientos, transportes alternativos, ... **es con frecuencia más fácil y efectivo para solucionar un problema actuar sobre las relaciones entre los elementos (las "y"), que modificar los elementos.**

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.

## **2.4. Las fronteras de un Sistema**

### **► ¿Dónde acaba el Sistema?**

Ya sabemos que en teoría una mariposa volando en China puede llegar a provocar un tornado en el Caribe, pero en la práctica, incluiremos en nuestro estudio sólo aquellos elementos que tienen una influencia razonable en el comportamiento del sistema, ya que no hemos de olvidar que tenemos un objetivo: proponer alguna acción práctica que sea eficaz para solucionar el problema que estudiamos.

El sistema debe de contener el menor número de elementos posible, que nos permita realizar una simulación para explicar al final cual 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.**

No se pueden ignorar las relaciones entre el consumo del automóvil y la salud pulmonar. Cuando analizamos el proceso de combustión del carbón en una central eléctrica vemos que además de energía se obtiene: cenizas, partículas en suspensión, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc. y que no hay una barrera entre el producto deseado, la electricidad, y los subproductos. En ocasiones se habla de "efectos secundarios" cuando son tan reales e importantes como los "efectos principales". Se aprecia la belleza de un diseño de la naturaleza porque los residuos de un proceso son siempre nutrientes para el siguiente, y tal vez esa sea la base para un nuevo diseño industrial.

El tamaño final del modelo ha de ser tal que podamos explicar sus aspectos esenciales en 10 minutos. Cualquier tiempo superior nos llevará al fracaso.

## 2.5. Diagrama Causal

### ► ¿Cómo representamos un Sistema?

El conjunto de los elementos que tienen relación con nuestro problema y permiten en principio explicar el comportamiento observado, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de retroalimentación, forman el Sistema. **El Diagrama Causal es un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.**

Como hemos dicho es importante empezar a hacer versiones que poco a poco nos vayan aproximando a la complejidad del modelo. La gama mínima de elementos y relaciones que permita reproducir la Referencia Histórica, será la que forme la estructura básica del sistema.

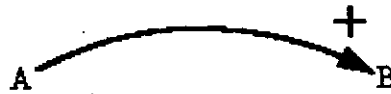
Una vez conocidas globalmente las variables del sistema y las hipotéticas relaciones causales existentes entre ellas, se pasa a la representación gráfica de las mismas. En este diagrama, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

Esas 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.

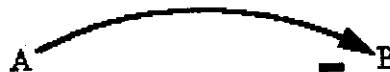




Así cuando un incremento de A, produce un incremento de B, o bien una disminución de A provoca una disminución de B, tendremos una relación positiva, lo representamos:



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:

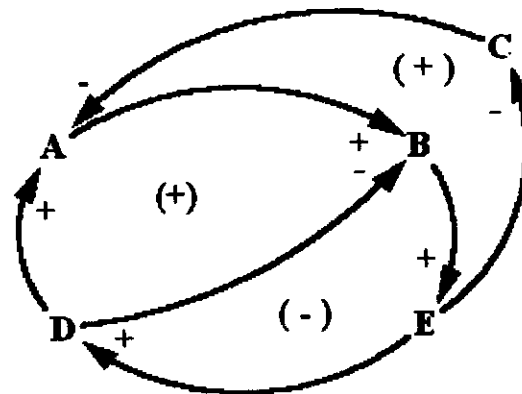


## 2.6. Retroalimentación

### ► ¿Qué es un bucle?

Una cadena cerrada de relaciones causales recibe el nombre de bucle, retroalimentación o feedback. Cuando abrimos el grifo para llenar un vaso de agua aumentamos la cantidad de agua en el vaso, pero también la cantidad de agua que va habiendo en el vaso modifica la velocidad en la que nosotros llenamos el vaso. Lo llenamos más despacio cuando está casi lleno; y por lo tanto existe un bucle.

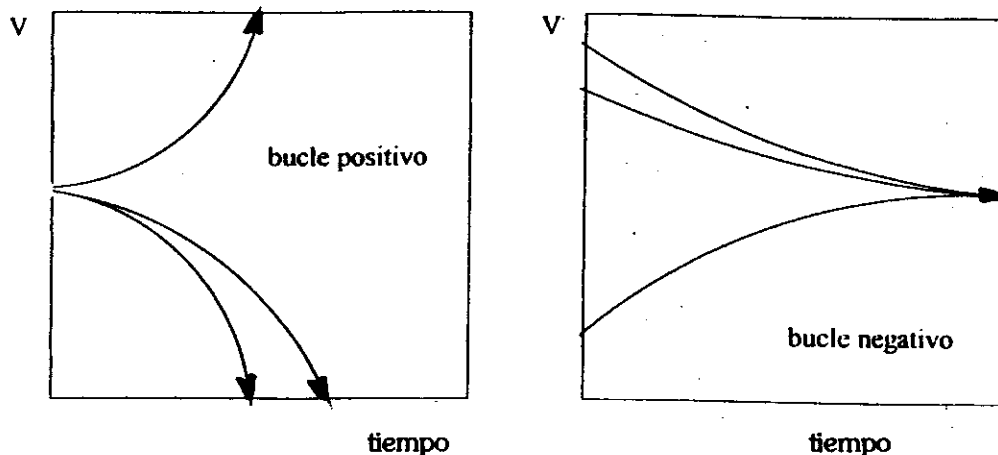
El sistema formado por nosotros, el grifo y el vaso de agua es un bucle negativo porque está dirigido a conseguir un objetivo, llenar el vaso sin que se exceda. Los bucles negativos actúan como elementos estabilizadores de los sistemas al dirigirlos hacia un objetivo determinado, igual que el termostato de la calefacción la dirige hacia la temperatura seleccionada.



En la construcción de un modelo aparecen bucles. Por ejemplo los formados por ABEDA, DBED y también ABECA.

Los bucles se definen como "positivos" cuando el número de relaciones "negativas" es par, y "negativos" si es impar (igual que al multiplicar:  $-a \times b = -c$ ).

Los bucles negativos llevan al modelo hacia una situación estable y los positivos lo hacen inestable, con independencia de la situación de partida.



En la realidad los sistemas contienen ambos tipos de bucles y el comportamiento final dependerá de cual es el dominante en un momento determinado.

Cuando un país adquiere más armamento hace que sus vecinos se sientan amenazados y les induce a adquirir ellos también más armamento. Este es un bucle positivo, también llamado un círculo vicioso que crece sobre sí mismo más y más. Los bucles positivos causan crecimiento, evolución y también el colapso de los sistemas.

Naturalmente los sistemas socioeconómicos y ecológicos están formados por cientos de bucles positivos y negativos interconectados, y su comportamiento final no es evidente.

El concepto de bucle es muy útil porque nos permite partir desde la estructura del sistema que analizamos y llegar hasta su comportamiento dinámico. Si un sistema oscila persistentemente, o se halla en equilibrio, o decae con rapidez, podemos identificar las razones estructurales y decidir como modificar los bucles causales que lo van a alterar. La aplicación de esta forma de actuar se extiende desde el control de un proceso industrial, al seguimiento de la diabetes o el cáncer, variaciones de los precios de las materias primas y el crecimiento económico.

Pero la utilidad más importante de esta concepción es comprender **como la estructura de los sistemas provoca su comportamiento**. En un mismo mercado, en un mismo año, varias empresas que ofrecen el mismo producto presentan resultados económicos muy diferentes. Los gerentes menos competentes argumentan múltiples causas ajenas a ellos: los costes laborales, la competencia, los hábitos de los clientes, ... cuando en realidad deberían de estudiar porqué los sistemas que ellos controlan (sus empresas) tienen una estructura menos competitiva que aquellos otros que han presentado mejores resultados.

El país A percibe que la carrera de armamentos fue causada por el país B y viceversa. Pero en realidad también puede afirmarse que el país A ha provocado su rearme al adquirir armas, que motivan el rearme del país B. De forma similar el crecimiento de los precios del crudo se debe tanto a la concentración de la producción en unos pocos

países como en el excesivo aumento del consumo en los países desarrollados, de un producto que en definitiva es limitativo al no ser renovable.

Identificar que la causa de los problemas no es algo externo al sistema no suele ser muy popular, ya que es más fácil achacarlo a factores externos e incontrolables por nosotros. Lo que ocurre es que si el mismo que expone el argumento de la causa externa cree verdaderamente en lo que dice, no podrá identificar la verdadera causa del problema - dentro del sistema - y obtener los resultados deseados. Si el sistema tiene los elementos que causan el problema también tiene la forma en la que se puede solucionar.

Así por ejemplo, la curva de vida de un producto puede decirse que se halla regulada inicialmente por un bucle positivo que permite un rápido crecimiento exponencial, al que sigue una fase de estabilidad dominada por un bucle negativo en el que interviene la saturación del mercado, y por último una caída, que suele ser también brusca, debido a la aparición de productos substitutivos de rápido crecimiento.

Por último, señalar que **el diagrama causal es de gran importancia para la explicación del modelo final al usuario**, si este no está familiarizado con esta técnica lo cual suele ser usual.

## 2.7. El factor limitativo

**El factor limitativo es aquel elemento del sistema que ahora limita el crecimiento del sistema. Es único en cada momento, pero a lo largo del tiempo diferentes elementos del sistema pueden actuar como factores limitativos.**

El maíz no puede crecer sin fosfatos, no importa cuanto nitrógeno añadamos a la tierra. Aunque éste concepto es sencillamente elemental muchas veces se le ignora. Los agrónomos asumen que ellos conocen como deben de fertilizar el suelo ya que conocen los 20 principales elementos de los que se nutren las plantas, pero ¿cuantos elementos no conocen?. En muchos casos la atención se concentra en los elementos más voluminosos, pero difícilmente en el verdaderamente importante: el factor limitativo.

La comprensión de la realidad proviene no sólo de percibir que el factor limitativo es esencial, sino también de entender que los cambios también modifican los elementos que forman el sistema. La relación entre una planta en crecimiento y el suelo, y entre el crecimiento económico y los recursos que lo sustentan es dinámica y en cambio permanente. Allí donde un factor deja de ser limitativo se produce el crecimiento y cambia la proporción entre los factores hasta que otro de ellos se convierte en limitativo. Modificar la atención hacia el próximo factor limitativo es avanzar en la comprensión real y controlar con eficacia la evolución de los sistemas.

**El factor limitativo es dinámico**, en el crecimiento de una planta el factor limitativo puede ser hoy la escasez de agua, y mañana una vez resuelta, será la falta de nutrientes, y ... etc. Siempre existe un único factor limitativo.

## 2.8. Los factores clave

Del inglés "leverage-points" : puntos de palanca, de fuerza, de presión, o de influencia. **En un sistema existen varios factores 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 factores clave, no son evidentes ni fáciles de identificar.

Para una persona normal los factores clave serán los relacionados con su salud, con su familia, y (ojala) su educación. **Son los motores profundos de sus actos en el día a día.**

Por otra parte hay que tener en cuenta que estos factores **clave pueden desencadenar comportamientos violentos.** En ocasiones las personas toleran muchas humillaciones, tanto en privado como en público, pero una mención peyorativa a sus progenitores puede ser fatal. Ese es pues un factor clave. Pueden ser físicos (podemos meterle el dedo en la oreja a una persona sin que se enfade en exceso, pero no en el ojo) o psicológicos (tras un leve accidente de coche algunas personas reaccionan con extrema violencia).

En ocasiones para lograr un objetivo se realizan grandes esfuerzos en la dirección equivocada. En especial en el ámbito personal, social, empresarial y ecológico. Al objeto de evitar esta situación, Jay Forrester propone unas determinadas directrices a seguir en el ámbito empresarial, que son fácilmente extrapolables a otros ámbitos.

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 factores conyunturales 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 factores 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 factor clave ha sido identificado previamente por alguien, no es extraño que se haya actuado sobre el en la dirección equivocada, intensificando gravemente el problema.

Los modelos nos permiten realizar estudios de sensibilidad y ver qué elementos del sistema pueden influir decisivamente en su comportamiento, es decir nos identifican los factores clave. Pero eso no significa que no podamos avanzar sin su ayuda.

La peculiaridad de estos factores clave es que se hallan situados en puntos o aspectos inesperados que incitan a actuaciones contraproducentes. Es difícil de ilustrar con un diagrama causal. Parece deberse este fenómeno más que a una estructura específica, a la

dificultad de interpretar el comportamiento de un sistema que tenemos ya definido, ya que el efecto de las interrelaciones supera nuestra capacidad de análisis (esto suele significar que el sistema posee más de cuatro bucles).

Esta incapacidad para percibir e interpretar cómo es el sistema y cuales son sus factores clave se traduce en un **comportamiento contraintuitivo** del mismo, de forma que nuestras acciones se realizan en el sentido equivocado. Veamos ejemplos.

a) Una empresa de fabricación de motores tenía una pérdida constante de cuota de mercado. Cada cuatro años se producía una gran pérdida de clientes que difícilmente regresaban después. El problema radicaba según los análisis de la empresa en su política de stocks de productos acabados. La empresa era reacia a mantener en el almacén a un gran número de motores en espera de que llegasen pedidos para ellos, debido a su alto coste financiero. La política era mantener bajos niveles de productos acabados. Esta política ahorra gran cantidad de dinero. Pero en cada fase alcista del ciclo económico, la empresa se hallaba saturada de pedidos que había de servir con grandes retrasos. Los clientes en ese momento se iban a la competencia que les suministraba motores más rápidamente. La firma respondía a la pérdida de ventas con un programa de medidas para rebajar costes, incluyendo nuevas disminuciones en el nivel de productos acabados.

b) Existe una progresiva desaparición de granjas lecheras. Se proponen medidas como reducciones de impuestos, préstamos a bajo interés, y subsidios. Si alguien quiere crear una pequeña granja no será por falta de estímulos. No obstante la principal causa del cierre de granjas es la expansión de las granjas. Los ganaderos tratan de incrementar sus ingresos produciendo más cantidad de leche. Cuando todos los ganaderos hacen lo mismo el mercado se satura de leche, y el precio cae (ya que no hay un precio de intervención o garantía, si fuese así se estaría pasando la carga al factor externo). Cuando los precios han bajado cada ganadero ha de producir aún más leche para ¡mantener sus ingresos!. Unos lo consiguen y otros no, y de éstos últimos los que menos pueden soportarlo abandonan la granja.

c) Uno de los factores clave en cualquier economía es la vida útil del capital instalado. La mejor forma de estimular el crecimiento sostenido de la economía es conseguir que esta vida útil sea lo más dilatada posible. No obstante, se practica una política de obsolescencia acelerada o se prima la sustitución de equipos dirigidos hacia la consecución del crecimiento económico a corto plazo.

d) La forma de revitalizar la economía de una ciudad y reducir el problema de los barrios deprimidos habitados por personas sin recursos económicos no es construir más viviendas protegidas en las ciudades. La solución es demoler las fábricas y viviendas abandonadas, y crear espacios libres para el establecimiento de nuevos negocios, para que el equilibrio entre puestos de trabajo y población se vuelva a restablecer.

Lo ideal sería poder proporcionar unas sencillas reglas para encontrar los factores clave y para conocer la dirección en la que se debe actuar.

Encontrar estos puntos por la simple observación del sistema no es siempre posible, y es en este campo donde los modelos de simulación en ordenador nos muestran toda su utilidad.

## 2.9. Tipos de Sistemas

La estructura interna determina el comportamiento de los sistemas, y así podemos establecer una tipología de la estructura de los sistemas atendiendo al comportamiento que nos muestran.

Esto es especialmente útil ya que nos permite avanzar en nuestro análisis en una dirección perfectamente conocida, ya que buscaremos aquella estructura-tipo que nos provoca el comportamiento observado.

### 2.9.1. Sistemas estables e inestables

Un sistema es estable cuando se halla formado o dominado por un bucle negativo, y es inestable cuando el bucle es positivo. Es decir, cuando en el bucle dominante haya un número impar de relaciones negativas, tendremos un bucle negativo, y el sistema será estable. La estructura básica de los sistemas estables está formada por un Estado Deseado y por un Estado Real del sistema, estos dos estados se comparan (Diferencia), y en base a este valor el sistema toma una Acción para igualar el Estado Real al Deseado.

En este caso importan relativamente poco los parámetros iniciales, ya que el sistema actuará en base a las condiciones ambientales que encuentre, de forma que si tiene hambre buscará comida, y una vez lograda se planteará un nuevo objetivo, y así sucesivamente.



Es importante ver como en los sistemas estables la estructura que genera el comportamiento es siempre el mismo: hay un número de relaciones negativas impar, y el bucle es negativo.

Esto significa que el sistema compara permanentemente su estado real con el estado deseado, y cuando existe una diferencia, hace acciones en el sentido de acercar su estado real al deseado. Una vez lograda esta igualdad cualquier alteración de su estado real se traducirá en una acción, proporcional a la diferencia producida, para retomar el estado deseado.

Este es el estado en el que solemos hallar los sistemas. Cuando nos acercamos a ellos, ya han hallado una posición de estabilidad. Si un sistema es inestable difícilmente lo podremos estudiar ya que se habrá deshecho antes de que podamos analizarlo. No obstante si estamos diseñando un sistema totalmente nuevo, sí que deberemos preocuparnos de conocer si va a ser estable. De igual manera si estamos diseñando un cambio en un sistema estable, deberemos de vigilar que no lo transformemos en uno inestable.

Ejemplos de sistemas que no se hallan en una situación óptima pero que perduran a lo largo de los años, es decir, son estables y los podemos hallar en muchos ámbitos: entre el Gobierno, los trabajadores y los empresarios producen la inflación que les perjudica a todos, y también, los países ricos y los pobres comercian sobre materias primas, cada uno de ellos con un objetivo político y económico diferente, aunque el resultado es una permanente inestabilidad de los precios.

Supongamos que el Gobierno interviene en el sistema con una política decidida que sitúa el estado del sistema donde él desea. Esto provocará grandes discrepancias entre los otros elementos del sistema, los cuales redoblarán sus esfuerzos hasta que, si tienen éxito, el sistema se sitúe muy cerca de la posición inicial, pero después de que cada elemento ha realizado un importante esfuerzo. Piense por ejemplo los esfuerzos que se han realizado en Barcelona para mejorar el tráfico en los últimos 10 años, el resultado ha sido que el tráfico mejoró tras la apertura de las Rondas durante unos años, pero actualmente vuelven a existir los mismos problemas que antes, eso sí, implicando a muchos más coches.

La forma más efectiva de actuar contra la resistencia natural del sistema es persuadir o conseguir una modificación de los objetivos de cada uno de los elementos, hacia el objetivo que nosotros deseamos dirigir el sistema. En este caso los esfuerzos de todos los elementos se dirigirán hacia el mismo objetivo y el esfuerzo será mínimo para todos ya que no deberán hacer frente a acciones en sentido contrario. Cuando se puede conseguir esto los resultados son espectaculares. Los ejemplos más usuales de esto lo hallamos en las movilizaciones de las economías en caso de guerra, o la recuperación después de las guerras, o tras los desastres naturales.

Un ejemplo no tan bélico lo hallamos en la política de natalidad de Suecia en la década de los 30, cuando la tasa de natalidad cayó por debajo de la tasa de sustitución natural. El Gobierno valoró sus objetivos y los de la población cuidadosamente y encontró que podía existir un acuerdo sobre el principio de que lo importante no es el tamaño de la población sino su calidad. Cada hijo ha de ser deseado y querido, preferiblemente en una familia fuerte, estable, y con acceso a una excelente educación y cuidados sanitarios. El Gobierno y los ciudadanos suecos estaban de acuerdo con esta filosofía. Las políticas que se implantaron incluían anticonceptivos y aborto, educación sexual y familiar, facilidad de divorciarse, cuidados ginecológicos gratuitos, ayudas a las familias con niños no con dinero sino con juguetes, ropas, etc., y un aumento de las inversiones en educación y sanidad. Algunas de estas políticas parecían extrañas en un país con una tasa de natalidad tan baja, pero fueron implementadas, y desde entonces la tasa de natalidad ha aumentado, disminuido y vuelto a aumentar.

Existen sistemas que carecen de realimentación, y los modelos que construyamos han de ponerlo eso mismo de manifiesto. Por ejemplo: conocidos los parámetros iniciales de una almeja (tipo, peso, ...) y si controlamos las condiciones ambientales que va a tener podemos saber con seguridad su peso al cabo de 6 meses. Hay una "función de transferencia" entre los valores iniciales y los finales, que hemos de encontrar, pero eso es todo.

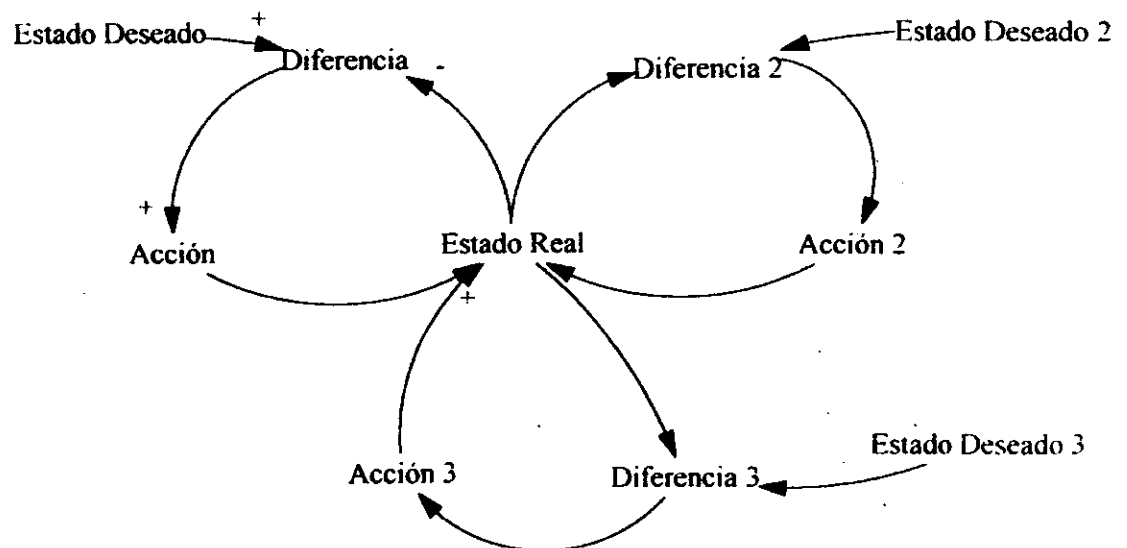
Otros ejemplos: Dios es alguien que consigue al instante que su estado real coincida con su estado deseado. Un suicida es aquel que percibe que nunca conseguirá que el estado real coincida con el estado deseado, y por lo tanto cualquier acción carece de utilidad.

Nota: Cuanto mas inteligente sea un sistema (más claros tenga sus objetivos) más estable será. Aplicable a las personas.

### 2.9.2. Sistemas hiperestables

Cuando un sistema está formado por múltiples bucles negativos, cualquier acción que intenta modificar un elemento no se ve contrarrestado sólo por el bucle en el que se halla dicho elemento, sino por todo el conjunto de bucles negativos que actúan en su apoyo, super-estabilizando el sistema.

Un análisis del sistema nos puede ayudar. Cualquier sistema complejo, sea social o ecológico, está formado por cientos de elementos. Cada elemento se relaciona solo con un número limitado de variables que son importantes para él, y que permanentemente compara con sus objetivos. Si existe una discrepancia entre el estado de estas variables y sus objetivos, el elemento actúa de una determinada forma para modificar el sistema. Cuanto mayor es esta discrepancia mayor es la actuación que lleva a cabo el elemento en el sistema. La combinación de todas las acciones de todos los elementos que tratan de ajustar el sistema a sus objetivos conduce al sistema a una posición que no es la que ninguno de ellos quisiera, pero es aquella en la que todos los elementos encuentran una menor desviación entre los parámetros significativos para ellos y sus objetivos.





¿Por qué muchos problemas persisten a pesar de los continuos esfuerzos para solucionarlos?

Hemos visto que los sistemas basan su estabilidad sobre las acciones de todos sus elementos que persiguen unos objetivos diferentes, tratando de que el resto del sistema sea lo más próximo a sus deseos. A partir de este momento, si un elemento del sistema o una acción exterior intentan modificar su estabilidad, los restantes elementos realizarán acciones para volver a la situación inicial, neutralizando por consiguiente la acción que alteraba su estabilidad.

La respuesta es por lo tanto sencilla, los sistemas se resisten a cualquier cambio que intentemos porque su configuración actual es el resultado de muchos intentos anteriores como el nuestro que no tuvieron éxito, ya que si no, el sistema sería hoy diferente, y a una estructura interna que le hace estable, y capaz de neutralizar los cambios del entorno, como el que nosotros realizamos con nuestra acción.

Esto lo consigue el sistema como un todo ajustando con rapidez las relaciones internas de sus elementos de forma tal que cada uno sigue persiguiendo su propio objetivo, y en conjunto neutralizan la acción que les llega del exterior.

### **2.9.3. Sistemas oscilantes**

Veremos más adelante en los casos prácticos como para que un sistema muestre un comportamiento oscilante es necesario que tenga al menos dos "niveles", que son elementos del sistema en los que se producen acumulaciones.

En ocasiones se observa un comportamiento oscilante como algo natural en todos los procesos. Esto lo hemos heredado de nuestra tradición agrícola en la que el verano sigue a la primavera, el calor al frío, la noche al día, y siempre vuelve al estado inicial. En conclusión si el estado actual del sistema no nos gusta o no es el correcto, no es necesario hacer nada ya que todo parece ser cíclico y volverá a la normalidad por si solo.

No obstante es importante apreciar que el hecho de que hasta hoy nuestro sistema haya tenido un comportamiento cíclico no nos garantiza que en el futuro lo siga siendo. Será del conocimiento de la estructura del sistema de donde podremos asegurar que no es necesaria ninguna acción correctora del sistema, o bien en donde encontraremos la forma de actuar más eficazmente.

### **2.9.4. Sistemas sigmoidales**

Son sistemas en los cuales existe un bucle positivo que actúa en un principio como dominante y hace arrancar el sistema exponencialmente, y después el control del sistema lo toma un bucle negativo que anula los efectos del anterior y proporciona estabilidad al sistema, situándolo en un valor asintóticamente.

#### 4.1. Diagrama de Flujos

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 facilita la escritura de las ecuaciones en el ordenador. Básicamente es una reclasificación de los elementos.



No hay unas reglas precisas de como hacer esta transformación, pero si hay alguna forma de abordar este proceso. **Pasos a seguir:**

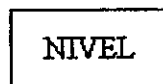
1°. Hace una fotografía mental al sistema y lo que salga en ella (personas, km<sup>2</sup>, litros, animales,...) eso son **Niveles**.

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**.

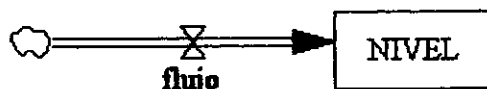
Como regla general esto sirve para empezar. Después ya se pueden ir haciendo retoques, y así los Niveles que vayan a permanecer constantes (m<sup>2</sup> de la habitación) en vez de definirlos como Niveles se pueden definir como variables auxiliares tipo constante que es más sencillo. Este es todo el procedimiento. Ahora veremos con más detalle como se representan estos elementos.

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, km<sup>2</sup>, 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, km<sup>2</sup>/año,...

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

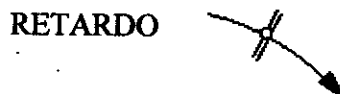


Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales materiales". Por otra parte existen los llamados "canales de información", que transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan.



Por último quedan por definir 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.



#### 4.2. Simulación en ordenador

En esta etapa se escriben las instrucciones, léase 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.

Después veremos con detalle el manejo del Vensim, pero ahora veamos brevemente las características del antiguo lenguaje Dynamo de Addison-Wesley. ¿Porqué?. Por que hay muchos libros escritos con esta nomenclatura que hay que poder leer.

Podemos decir que en Dynamo la ecuación que muestra la situación del modelo en un instante dado,  $t + \Delta t$ , viene dada por la situación en el instante anterior,  $t$ , más la variación de los parámetros producida en el intervalo  $\Delta t$ . La ecuación genérica para un nivel sería:

$$\text{NIV}(t + \Delta t) = \text{NIV}(t) + \Delta t * (\text{FENT} - \text{FSAL})$$

siendo:

$\text{NIV}(t + \Delta t)$  = Nivel en el instante  $t + \Delta t$

$\text{NIV}(t)$  = Nivel en el instante  $t$

FENT = Flujo de entrada por unidad de tiempo durante el intervalo  $t$

FSAL = Flujo de salida por unidad de tiempo durante el intervalo  $t$

El DYNAMO sustituye  $(t + \Delta t)$  por K,  $t$  por J, y  $\Delta t$  por DT, y la ecuación resultante es:

$$\text{NIV.K} = \text{NIV.J} + (\text{DT})(\text{FENT.JK} - \text{FSAL.JK})$$

Estos lenguajes permiten eludir el formular matemáticamente las relaciones no lineales, y lo hacen mediante la construcción de Tablas (que veremos en los Casos).

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. Dado que los sistemas sociales suelen ser bastante poco sensibles a los cambios en los valores de los parámetros, no es necesario dedicar mucho tiempo al cálculo exacto de los mismos.

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.

### 4.3. 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 del modelo.

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 compensarían el esfuerzo realizado.

La primera simulación se hace, según dijimos, utilizando unos valores de parámetros y condiciones iniciales que no tienen porqué 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.

#### 4.4. Análisis del Sistema

Por último una vez que el modelo ofrezca una salida coherente con el pasado y la situación actual, podremos simular el impacto de las políticas o decisiones que nos llevarán a la solución del problema planteado.

También se pueden localizar los Factores Clave (leverage-points o puntos-palanca) mediante análisis de sensibilidad.

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. Dicha percepción se facilita si el creador del modelo reduce al mínimo la utilización de símbolos inaccesibles, si las ecuaciones matemáticas son aclaradas por gráficos fácilmente comprensibles por los no especialistas, y son acompañadas de una justificación consistente. En una palabra, si una de las premisas en la creación del modelo es su transparencia.

Por otra parte, deben quedar claras las limitaciones del modelo, especialmente cuando es usado con fines de previsión de impactos que diferentes políticas tendrían sobre el sistema. No debemos olvidar que la evolución obtenida del comportamiento del modelo se basa en unas ciertas hipótesis sobre la estructura actual del sistema y de las circunstancias que forman su entorno. Por tanto, las conclusiones extraídas serán válidas, supuesto 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.

Así pues, 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.

Otro factor a considerar es la dosis de subjetividad que implica el empleo de modelos. 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.

#### **4.5. Críticas a los modelos**

Ya en 1971, Van der Gritten expuso algunas críticas a los modelos creados según esta metodología. Estas básicamente son:

- Falta de contenido empírico de los modelos. Es decir, el resultado del modelo debería ser comparable con datos reales.
- Las relaciones funcionales recogen ideas y criterios que no cuentan siempre con el apoyo de la teoría, de la evidencia o de la experiencia.
- Los resultados son sensibles a variaciones de algunas entradas y parámetros.
- El carácter determinista de muchos de los modelos, en el sentido de no incluir la posible reacción ante la previsión de cambios futuros.

Aunque seguramente podría añadirse alguna otra, básicamente estos son los puntos usuales de crítica a esta clase de modelos.

Está claro que la naturaleza de los problemas que se abordan con esta metodología siempre permitirá estas críticas si no se explica previamente que los modelos de Dinámica de Sistemas no son modelos predictivos, no pretenden hallar valores exactos, sino comparativos, es decir han de permitir comparar diferentes políticas alternativas en base al escenario al que conducen.