

2. DINÁMICA DE SISTEMAS

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 sobretodo 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 márketing, 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 muchos modelos para invertir en Bolsa analizan las montañas y valles en las cotizaciones, los ciclos alcistas y bajistas, etc. y diseñan estrategias para minimizar el riesgo de pérdidas, etc. No pretenden pues "conocer" porqué la cotización de una empresa sube o baja en función de sus nuevos productos, nuevos competidores, etc.

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 Sufí: 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, SO₂, CO₂, 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.**

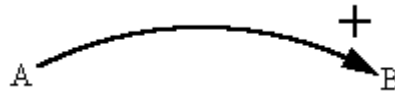
Como hemos dicho es importante empezar a hacer versiones que poco a poco nos vayan aproximando a la complejidad del modelo. La gama mínima de elementos y relaciones que permita reproducir la Referencia Histórica, será la que forme la estructura básica del sistema.

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.

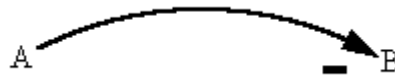
Esas flechas van acompañadas de un signo (+ o -) que indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Un signo "+" quiere decir que un cambio en la variable origen de la flecha producirá un cambio del mismo sentido en la variable destino. El signo "-" simboliza que el efecto producido 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:



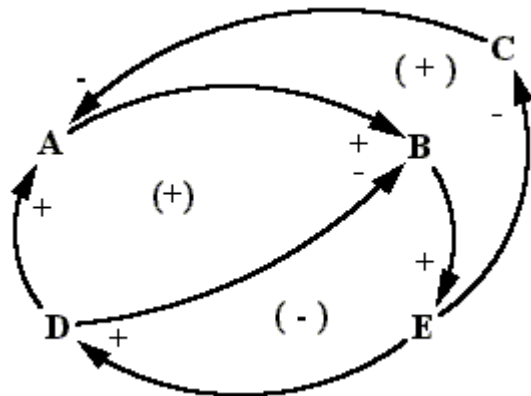
2.6. Retroalimentación

► ¿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.

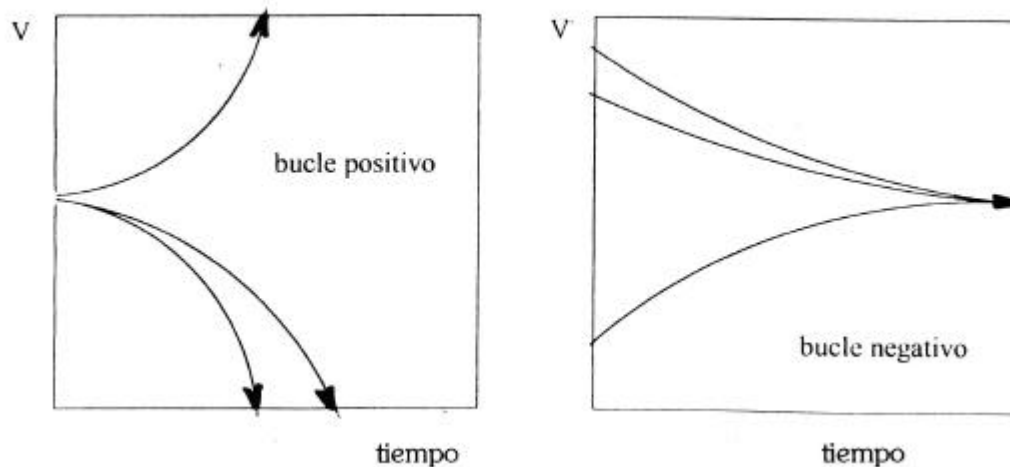
El sistema formado por nosotros, el grifo y el vaso de agua es un bucle negativo porque está dirigido a conseguir un objetivo, llenar el vaso sin que se exceda. Los bucles negativos actúan como elementos estabilizadores de los sistemas al dirigirlos hacia un objetivo determinado, igual que el termostato 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 $-3 \times +3 = -9$).

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 este 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 en 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 a 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 el 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 para mí significa que el sistema posee más de cuatro bucles).

Esta incapacidad para percibir e interpretar cómo es el sistema y cuáles 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 una 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 agricultores tratan de incrementar sus ingresos produciendo más cantidad de leche. Cuando todos los agricultores 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 agricultor 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 dirigidas 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.

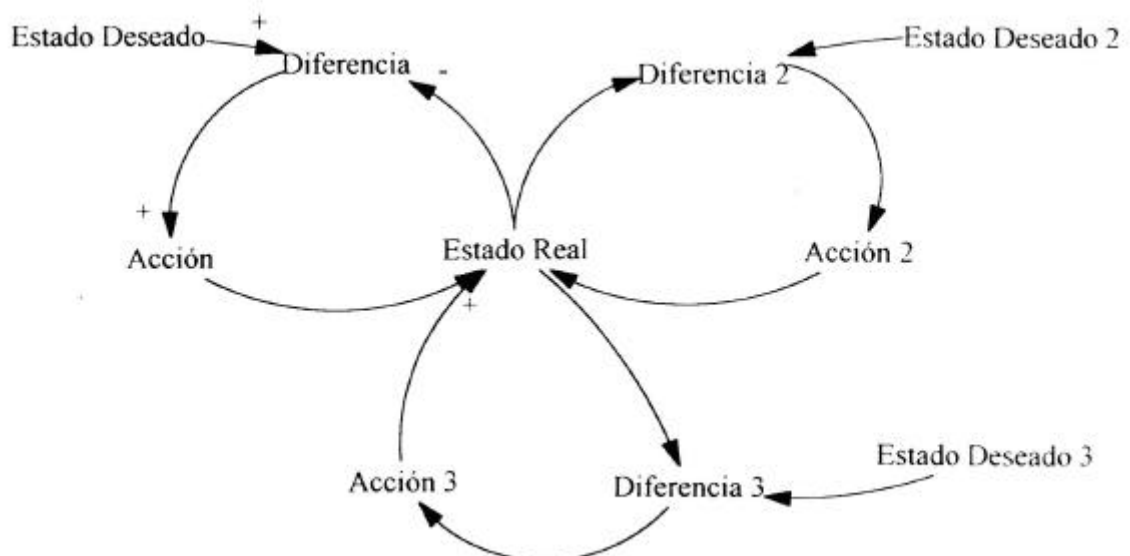
Otros ejemplos: Dios es alguien que consigue al instante que su estado real coincida con su estado deseado. Un suicida es aquel que percibe que nunca conseguirá que el estado real coincida con el estado deseado, y por lo tanto cualquier acción carece de utilidad.

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.

Es importante percibir que en este caso siempre estamos con el mismo sistema, el cual en un período se ve dominado por una parte del mismo, y después por la otra. Por lo tanto para regular su comportamiento deberemos encontrar la forma de promover o anular la parte del sistema que nos interesa. También hemos de tener claro que a medio plazo será el bucle negativo el que estabilice el sistema en el valor que tenga como objetivo. Sólo podemos regular el plazo y la forma en la que el sistema logrará alcanzar su objetivo.

2.10. Estructuras genéricas

En los sistemas complejos, podemos observar la misma estructura: Estado Deseado - Estado Real - Diferencia - Acción, una y otra vez en ámbitos muy diferentes. Sobre esta estructura base se han identificado unos patrones de comportamiento genéricos que suelen aparecer con independencia del objeto de estudio. **Existe siempre la misma estructura "inteligente" de voluntad de aproximación del Estado Real del sistema al Estado Deseado.**

2.10.1. Resistencia al cambio

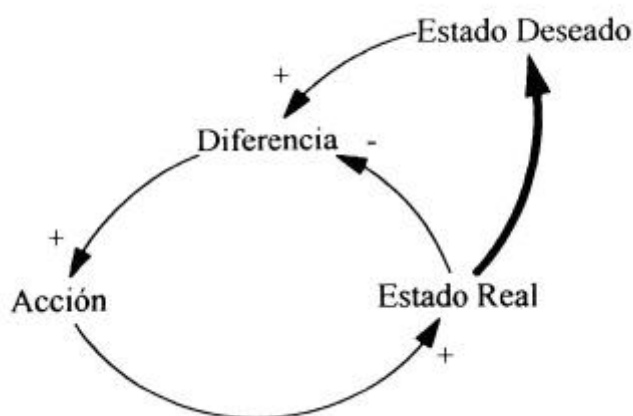
Cuando se incorpora un nuevo directivo a una empresa, en general con nuevos objetivos, se encuentra con frecuencia con que sus empleados le ponen inconvenientes a todo lo que propone: "eso ya se probó, eso aquí no funcionará, nuestros clientes lo quieren como siempre, esa propuesta es muy arriesgada, ...". En definitiva la empresa actúa como un sistema que ha conseguido sobrevivir a las innumerables crisis económicas pasadas, y es una estructura que es capaz de neutralizar cualquier cambio provenga de dentro mismo o del exterior debido a las múltiples relaciones entre sus miembros que, si bien persiguen cada uno un objetivo diferente, en conjunto han conseguido dotar de estabilidad a la empresa, sin que esto asegure que está en la posición más eficiente. Por ello con frecuencia es buena práctica que el directivo recién llegado solicite el compromiso del Director General para sus nuevos objetivos como forma de conseguir una cierta fuerza y alinear a los otros elementos de la empresa hacia estos objetivos.

Muchos sistemas no solamente son resistentes a las nuevas políticas que intentan mejorar su estado (mayor productividad, menores costes, etc.) sino que muestran una persistente tendencia a empeorar, a pesar de los esfuerzos para que mejore su situación. Los ejemplos en el ámbito empresarial son frecuentes: productividad, cuota de mercado, calidad del servicio, etc., y en el ámbito personal quien no conoce a nadie que tiene tendencia a la obesidad a pesar de las reiteradas dietas.

2.10.2. Erosión de objetivos

Realizar la "Acción" para acercar el Estado Real al Estado Deseado exige siempre un esfuerzo. Y este esfuerzo requiere consumo de tiempo, energía, dinero, etc.

Es normal la aparición de una "contaminación" desde el Estado Real al Estado Deseado, es decir, **el sistema intenta evitar el consumo de energía que le requiere hacer la Acción, y se replantea en primera instancia el Estado Deseado, ya que si éste coincidiese con el Estado Real, no necesitaría hacer ninguna Acción.** Podemos ver esta "contaminación" en el esquema.



Si se produce esta contaminación, el Estado Deseado se modifica hasta igualar el valor que tiene el Estado Real, la Diferencia entonces es cero, y por lo tanto no se hace ninguna Acción. Con lo cual el sistema no modifica su Estado Real.

Solo hay dos formas de evitar este proceso:

1.- Buscar un sistema "héroe". Es decir, convencer al sistema que no importa el esfuerzo que le requiera conseguir el Estado Deseado, que lo ha de conseguir. (Personalmente puedo indicar al alumno que esta forma de evitar el proceso de "contaminación" no suele dar resultados en el siglo XXI).

2.- Conseguir un "elemento externo" que sirva de referencia o ancla al Estado Deseado, de forma que éste no se pueda modificar por presiones del sistema, y el sistema no tenga capacidad de modificar el "elemento externo".

En España, cuando un estudiante de secundaria se plantea seguir estudios en las universidades públicas ya conoce con bastante aproximación la calificación media que debe obtener en los cursos de secundaria y los exámenes de acceso. Su Estado Deseado es esa "nota media" de acceso. No es negociable. Su Estado Real suele ser los primeros años de secundaria inferior a la nota de acceso, por lo tanto percibe una Diferencia, que le lleva a realizar una Acción (estudiar más) para lograr que su Estado Real alcance el Estado Deseado. Si el estudiante tiene claro lo que desea estudiar, no es necesario que la familia del estudiante le presione en absoluto. El sistema no se "contamina" porque el Estado Deseado ("nota media de acceso") no es modificable.



Después, cuando comienza sus estudios, si le preguntas, te dice que quiere ser un profesional excelente, y que obtendrá de "media" en sus estudios en la Universidad un 10. Tras los primeros exámenes llegan los primeros suspensos, que le hacen: 1) estudiar más

de lo previsto, y 2) modificar ("contaminar") a la baja su Estado Deseado, desde el 10 deseado hasta el mínimo no negociable de 5.

La estructura que ocasiona este comportamiento se basa en que existe en el sistema un determinado objetivo (p.ej.: peso deseado) que es comparado con la realidad (peso real), y la discrepancia entre ambos valores mueve a realizar alguna acción, proporcional a la desviación. Esto es lo usual visto hasta ahora como un bucle negativo que tiende a aproximar al sistema a su objetivo de una forma estable ante cualquier discrepancia. No obstante, en ocasiones el estado del sistema llega a condicionar o modificar el estado deseado, bien porque el estado real es muy persistente en el tiempo o bien porque realizar la acción implica un gran esfuerzo, o por otras razones, lo cierto es que se produce una modificación del objetivo inicial aproximándolo al estado real del sistema.

Esto alivia la necesidad de realizar acciones ya que la discrepancia se ha reducido, no porque el sistema se ha aproximado al objetivo, sino porque el objetivo se ha aproximado al estado real. La consecuencia es que se realiza una acción menor.

En el caso del peso de una persona obesa esto se produce cuando la persona acepta que el peso objetivo era demasiado ambicioso, y que es mejor un objetivo más realista (un peso superior). Este argumento le sirve de coartada para seguir una dieta menos estricta. como observa que no disminuye de peso se vuelve a plantear el objetivo último ... y así sucesivamente hasta que llega a plantearse que realmente el peso real es el mejor, con lo que no ha de seguir ninguna dieta (que le implicaba sacrificio).

Ejemplos sobre esta patología no faltan en la contaminación ambiental, la seguridad ciudadana, los accidentes de tráfico, etc. En todos ellos los bajos resultados se transforman en estándar ante el esfuerzo que implica hacer algo efectivo.

Un sistema que basa sus objetivos en la realidad, y únicamente pretende mejorarla está abocado a una tendencia permanente a los bajos resultados. Un sistema que obtiene sus objetivos de una base externa al sistema es inmune a este tipo de procesos.

Puede parecer una paradoja pero si un estudiante tiene claro que debe aprobar todas las asignaturas en julio porque su padre se lo ha puesto como objetivo inamovible, por las razones familiares que sean, lo tiene más fácil que si es él mismo el que ha tomado esa decisión. Si ha sido una decisión autónoma puede ser reconsiderada ante la dificultad de algunas asignaturas, y aceptar dejar alguna para más adelante, lo que implica estudiar menos. No obstante si el objetivo es innegociable, no hay este riesgo, hay que estudiar lo que haga falta para conseguir el objetivo.

En Economía no faltan ejemplos. En España nadie recuerda tasas de inflación tan bajas como las actuales. Cualquier Gobierno se sentiría satisfecho y renunciaría a reducirla aún más ya que esto implica tomar medidas impopulares (congelación salarial a los funcionarios). Si el objetivo de inflación estuviese en manos del Gobierno, las acciones correctivas habrían sido menores durante los años pasados y el presente, ya que implican menos gasto público y pérdida de votos. No obstante el objetivo de inflación vino fijado en su día por la necesidad de entrar en el EURO y por lo tanto era un elemento externo al

Gobierno, el cual no escatimó esfuerzos por impopulares que fuesen, ya que existía una meta fijada, concretada en una fecha, y era innegociable.

El obvio antídoto para esta patología reside en fijar al sistema objetivos absolutos, no basados en la situación actual ni en la pasada, y tomar acciones correctivas en función a la diferencia existente.

El objetivo absoluto pierde credibilidad tanto si se modifica al alza como a la baja, y la credibilidad no se recupera. Esto se observa a veces cuando el objetivo se modifica al alza ya que los resultados han superado el objetivo inicial. En este caso cuando los resultados de sitúen por debajo del objetivo inicial todos esperarán que vuelva a ser modificado, esta vez a la baja.

2.10.3. Adicción

En ocasiones el **Estado Real del sistema se iguala al Estado Deseado, no como consecuencia de la Acción sino debido a una ayuda procedente desde fuera del sistema.** Esta ayuda puede ser más o menos permanente y más o menos desinteresada, pero el efecto que provoca es que el Estado Real se iguala al Estado Deseado, con lo que la Diferencia es cero, y por lo tanto ya cualquier Acción del sistema es innecesaria.

Este fenómeno se produce cuando existe un objetivo que sirve de punto de comparación con el estado del sistema, en base a cuya discrepancia se toma una acción correctora proporcional a la misma, pero aquí la acción tomada no sirve tanto para aproximar el estado del sistema real al deseado sino para percibir que el sistema real está próximo al deseado, sin que esta acción tenga ningún efecto en ese sentido.

La falta de una percepción clara del estado real del sistema hace que no se tomen las acciones correctoras necesarias, ya que se percibe que el estado del sistema es más próximo al objetivo de lo que en realidad está.

Cuando el efecto inmediato o a corto plazo de la acción desaparece, el problema, o sea la discrepancia entre el estado real y el deseado, reaparece y con frecuencia con mayor intensidad, así que el sistema vuelve a tomar alguna acción que aparentemente le solucione el problema cada vez que el efecto de la anterior empieza a desaparecer.

El consumo del alcohol, nicotina, cafeína,... son ejemplos obvios de productos adictivos. Un ejemplo menos obvio es el uso de pesticidas, que eliminan junto a la plaga actual los mecanismos de control naturales, así que la plaga volverá a aparecer en cuanto disminuya el efecto del plaguicida, pero esta vez sin ningún freno natural.

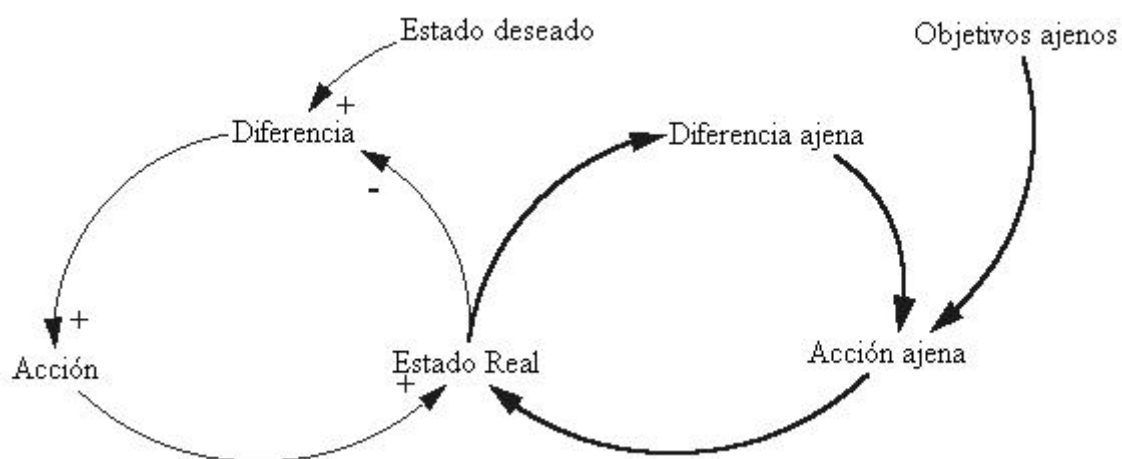
El planteamiento de políticas en los casos de un sistema adictivo es difícil ya que las acciones tomadas ofrecen resultados aparentes a corto plazo, pero una vez iniciado el proceso es muy difícil detenerlo. Evidentemente el mejor procedimiento es estar alerta contra este tipo de procesos, es decir ser prudente al uso de acciones que atacan los síntomas, pero empeoran el problema al evitarlo. Una vez iniciado el proceso adictivo uno

debe por lo menos prepararse para tener dificultades a corto plazo si planea romper este proceso, tanto dolor físico para el que toma una droga adictiva, como un crecimiento del precio de la gasolina si se le repercuten todos sus costes ambientales, o el aumento de plagas y disminución de la calidad de los alimentos hasta que vuelvan a aparecer los depredadores naturales.

En ocasiones se recomienda un proceso de retorno gradual. Pero siempre es menos costoso evitar que el proceso adictivo se inicie que intentar salirse de él después.

2.10.4. Paso de la carga al factor externo

A medida que algunas personas se hacen mayores y en ocasiones dedican más y más tiempo a la lectura, van perdiendo paulatinamente visión. Finalmente no pueden leer lo que se halla escrito en una pizarra, o no pasan la revisión del carnet del conducir por ese motivo. Entonces se colocan gafas o lentillas. Entonces en un año se produce un deterioro de la vista tan intenso como el que han sufrido en los treinta años anteriores. Entonces las gafas se hacen necesarias no sólo para ver a distancia sino para leer cualquier documento. Esto se produce aparentemente porque los músculos alrededor de los ojos han estado durante muchos años haciendo un esfuerzo para compensar mi ceguera, pero cuando este esfuerzo ya no es necesario dejan de actuar, y pierden totalmente esta habilidad. Y pronto se necesitan unas gafas aún más potentes.



Este es un ejemplo clásico del paso de la carga a un factor externo. En esta clase de sistema una fuerza externa mantiene el sistema en su situación deseada. Una fuerza bienintencionada, benevolente, y muy efectiva decide ayudar para conseguir que el sistema tenga nuestra posición deseada. Este nuevo mecanismo funciona muy bien.

Pero con este proceso, a través de una destrucción activa de los impedimentos que frenaban el sistema hacia la posición deseada, o por simple atrofia, las fuerzas originales que intentaban corregir la posición del sistema se debilitan. Cuando el sistema se desvía de

la posición deseada el factor externo redobla su potencia, lo cual aún debilita más a las fuerzas originales. Finalmente el sistema original toma una posición de dependencia total del factor externo ya que sus fuerzas correctivas originales han desaparecido por completo y en general de forma irreversible.

Es fácil y divertido encontrar otros ejemplos de paso de la carga al factor externo. A continuación se indica el principio de una posible lista.

Problema	Sistema	Factor externo
Dificultad de hacer cálculos	Habilidad mental	Calculadoras
Cuidado de las personas mayores	Familia	Seguridad Social
Falta de pastos en invierno	Ciervos salvajes	Reparto de forraje
Infecciones	Cuerpo humano	Antibióticos

Ayudarse de un factor externo para situar el sistema en nuestra posición deseada no es algo malo en principio. Es usualmente beneficioso y permite al sistema plantearse la consecución de mejores objetivos. Pero la dinámica del sistema puede ser problemática por dos razones: Primero, el factor externo que interviene no suele percibir las consecuencias que su ayuda va a tener en los elementos del sistema, y en especial en aquellos que intentaban hacer ese mismo esfuerzo. Segundo, la comunidad que es ayudada hoy no se plantea que la ayuda es temporal y pierde el sentido del largo plazo por lo que se vuelve más vulnerable y dependiente del factor externo.

La retirada de la ayuda de un sistema que está siendo ayudado, sea el cuerpo humano, un determinado entorno con valores ecológicos, o una comunidad humana no suele ser fácil y en muchas ocasiones es sencillamente imposible. Este proceso de retirada de la ayuda sin deteriorar el sistema se ha de basar siempre en la identificación de los elementos internos del sistema que en su estado original se encargaban de corregir el problema, reforzar estos mecanismos, y a medida que empiecen a actuar ir retirando la ayuda.

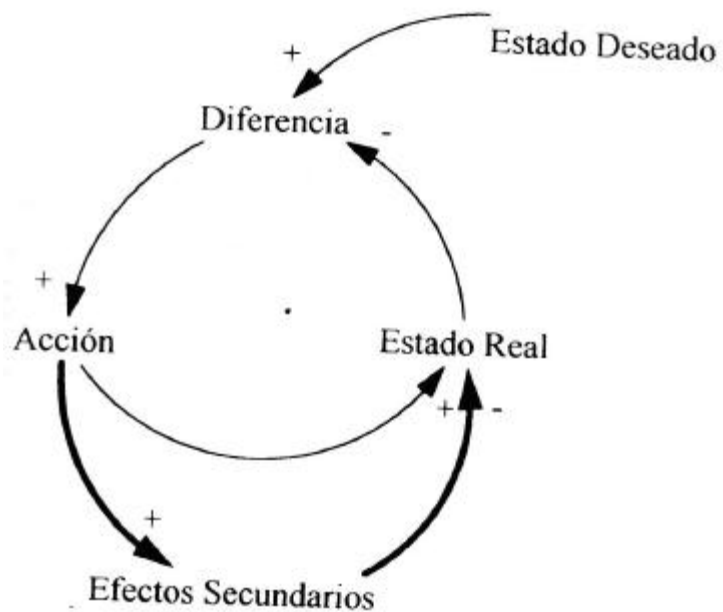
2.10.5. Efectos a corto y largo plazo

Veamos, un análisis racional del problema, basado en nuestra capacidad de síntesis y en nuestra habilidad para imaginar cosas, parece ser una mala guía para encontrar los factores clave. En general se presta atención a los componentes del sistema y a su comportamiento a corto plazo, todo ello basado en una información incompleta. Esto lleva

a una empresa a reducir sus existencias de productos acabados cuando ve reducirse sus ventas, el gobierno amplía las reducciones de impuestos a los pequeños agricultores, o se fomenta la política de sustitución de maquinaria en lugar de fomentar su buen mantenimiento.

Todas son políticas muy razonables. Pero todavía queda algo en nosotros que podría hacernos dar cuenta de que la insatisfacción de los clientes producida por las largas demoras en la entrega, o la permanente preocupación de los granjeros por aumentar su producción, o pensar en sustituir una máquina que es productiva, ... todo eso tiene un sentido que no hemos interpretado correctamente.

Por último, en mi opinión, tenemos la capacidad de entender no sólo los sistemas sencillos sino también los sistemas complejos, y de hallar los factores clave. Lo que no parece ser que tengamos es la capacidad para articular los argumentos, ante los otros y ante nosotros mismos para convencernos de que lo que estamos percibiendo es lo correcto. Nosotros esperamos hallar la solución que tenga una relación próxima con el síntoma, una ganancia a largo plazo que empiece con una ganancia a corto plazo, o una estrategia que produzca satisfacción a todos los agentes implicados. Pero nosotros sabemos que los sistemas complejos no se comportan de esa forma. Así que algo dentro de nosotros sigue insistiendo de algún modo en que tal vez esa solución sencilla y eficaz no debe ser la mejor. Así que seguimos proponiendo difíciles políticas que no pueden funcionar, negándonos otras más sencillas y eficaces que sí podrían.



Tratamos de competir en vez de cooperar, llegar a los límites de la capacidad ambiental en vez de aceptar que ya hemos llegado demasiado lejos. Los resultados son hambre, guerras, polución y depresión. Y justo enfrente nuestro, accesible a nuestra capacidad de comprensión se halla el equilibrio entre países, la paz, la equidad, y un desarrollo sostenible.

2.11. Los modelos del mundo

Para la mayor parte de las personas, sobretodo para los ingenieros, los modelos del mundo se asocian con enormes ordenadores con ingentes cantidades de información sobre cualquier materia que podamos imaginar. Pero el primer modelo de simulación del mundo bien documentado era relativamente simple, fue publicado en 1971 por Jay Forrester.

Desde entonces la proliferación de modelos del mundo ha sido enorme. Los modelos se han confeccionado en diferentes partes del mundo, usando diferentes técnicas, y con objetivos muy diversos. Con todo eso la realización de estos modelos se halla claramente limitada por la cantidad de información que sus creadores pueden incluir, y cada uno de estos modelos utiliza sólo una ínfima cantidad de la información que hay disponible sobre el mundo. La mayoría de ellos se hallan enfocados hacia los factores económicos, población y producción agrícola. Una minoría aborda los problemas ambientales y la utilización de los recursos naturales. Prácticamente ninguno suele hablar sobre guerra, política, nuevas ideas, o desastres naturales. La mayoría asume que la tecnología no cambia, o que cambia automáticamente, exponencialmente, y sin coste, para permitir producir más y más con un coste cada vez menor. Algunos modelos muestran el mundo como una simple unidad, como un todo continuo, otros lo dividen en 10 o 15 regiones, y otros llegan hasta el centenar de naciones. Algunos utilizan un horizonte temporal hasta el año 2100, y otros se limitan a unos pocos años de adelanto sobre el actual. Algunos, sobre todo los primeros, levantaron fuertes controversias, y otros han sido contruidos explícitamente para refutar las conclusiones de otros anteriores.

Vamos a ver algunas de las características de estos modelos del mundo que con frecuencia son mal comprendidas o interpretadas por un público que es o muy crédulo o muy escéptico sobre los modelos por ordenador.

1. Los modelos son muy diversos. Se han hecho por personas con claras creencias políticas y culturales, y todos suelen estar por ello bastante sesgados, pero en sentidos diferentes. No existe algo así como un modelo de socioeconomía, ecología o cualquier otro tema que sea "objetivo", es decir impersonal o neutral, y por ello sin influencia de los que han intervenido en su confección.

2. Los modelos, en especial los del mundo, son tremendamente complicados en los aspectos que abordan (detalladas estructuras por edad de la población, múltiples sectores económicos, complejos esquemas sobre el comercio, y amplias clasificaciones de las personas por su renta) y sorprendentemente simplistas en lo que omiten (armamentos, antigüedad de las infraestructuras, motivaciones, normas sociales, estructuras políticas, el origen y destino de los flujos de materias primas, etc.).

3. Un modelo es una lista de ecuaciones matemáticas que explícitamente recogen una visión del mundo, arropadas con parámetros estadísticos, todo ello lógicamente consistente, y capaz de producir frases como esta: " Si todas estas hipótesis son correctas, no hay otras que deban de considerarse, y se mantiene su validez en el futuro, entonces las consecuencias lógicas son que" (puedes toma nota -alumno- por si un día lo necesitas).

La importancia de estos modelos radica tal vez no tanto en sí mismos como en que tras ellos hay un esfuerzo de personas de diferentes continentes e ideologías de interpretar el mundo desde un punto de vista diferente dadas las limitaciones de los instrumentos usuales de trabajo. Todos han tenido que observar el mundo como un todo cerrado así como las implicaciones a largo plazo de los lazos que unen población, capital y producción de bienes y servicios que unen a todas las naciones. Todos se hubieron de zambullir en las estadísticas globales y construir un modelo que capture la situación global con amplitud y

relativa consistencia: cada comprador necesita un vendedor, cada nacimiento debe eventualmente ir ligado a una defunción, una vez que existe un determinado capital éste no puede cambiar su utilización de una fábrica de tractores a un hospital. Así, a pesar de diferencias en el énfasis de algunos temas y de determinados detalles, observando el mundo como un sistema cerrado en todos los modelos se obtienen unas conclusiones y sensaciones en común. Los mismos creadores de modelos, que generalmente son hostiles y críticos entre ellos, se han sorprendido de que sus conclusiones básicas son coincidentes. Los puntos siguientes recogen estos puntos básicos.

1. No se conoce ninguna razón física o técnica por la que las necesidades físicas o técnicas no puedan ser cubiertas en un futuro razonablemente predecible. Estas necesidades no se hallan cubiertas ahora a causa de las estructuras políticas y sociales, valores, normas, y visiones del mundo, no por limitaciones físicas.

2. La población y el consumo de recursos físicos no puede crecer indefinidamente en la Tierra.

3. No existe, así de clara y simplemente, información completa sobre el grado en el que la Tierra puede absorber y satisfacer las necesidades de una población creciente, capital y los residuos que esta población puede generar. Hay una gran cantidad de información parcial, que los optimistas leen optimistamente y que los pesimistas leen pesimistamente.

4. La prolongación hacia el futuro de las políticas nacionales como hasta la fecha no nos aproxima al futuro deseable, donde las necesidades humanas se hallan mejor cubiertas. Lo que se produce es un incremento de la diferencia entre los ricos y los pobres, problemas con los recursos naturales disponibles y destrucción ambiental, y empeoramiento de las condiciones económicas.

5. A pesar de estas dificultades, las tendencias actuales no necesariamente se prolongan hacia el futuro. El mundo puede empezar un período de transición en el que se dirija hacia un futuro no sólo cuantitativamente sino cualitativamente diferente.

6. La naturaleza exacta de ese estado futuro, y el que sea mejor o peor que el estado actual, no se halla predeterminado. Pero es función de decisiones y cambios hechos (o no) ahora.

7. Cuando los problemas son obvios para todos, es demasiado tarde para hacer algo. Por ello las políticas para cambiar los procesos sociales deben implantarse mejor en las etapas previas ya que así tienen un mayor impacto con un mínimo consumo de recursos.

8. Aunque son de esperar progresos tecnológicos y sin duda (?) éstos serán beneficiosos, ningún cambio de componente estrictamente tecnológico conduce por sí solo hasta un futuro mejor. La reestructuración social, económica y política conduce a ese propósito de una forma más efectiva.

9. La interdependencia entre pueblos y naciones a través del tiempo y el espacio es mayor de lo comúnmente imaginado. Las acciones realizadas en una parte del mundo pueden tener consecuencias a medio plazo que son imposibles de intuir y probablemente imposibles de predecir tal vez ni en parte con los modelos en ordenador.

10. Debido a estas interdependencias, simples actuaciones que pretenden conseguir un determinado efecto pueden ser totalmente contraproducentes. Las decisiones deben de ser tomadas dentro del más amplio contexto de análisis de las áreas del conocimiento posibles.

11. Los enfoques cooperativos para conseguir metas individuales o nacionales a menudo son más beneficiosas a medio plazo para todas las partes implicadas que aquellos otros enfoques o estrategias basadas en la confrontación.

12. Muchos planes, programas, y acuerdos, particularmente los que tienen un ámbito internacional se basan en suposiciones sobre el estado del mundo que son entre sí inconsistentes con la realidad física. Se dedica mucho tiempo y esfuerzo en diseñar y debatir políticas que son, de hecho, simplemente imposibles.

Para las personas que han dedicado tiempo y esfuerzo en la creación de estos modelos del mundo las conclusiones comunes no son después de todo sorprendentes. Han adquirido una visión intuitiva de como funciona el complejo sistema en el que vivimos. Y los puntos anteriores no son más que las claves de como funciona un sistema complejo.

La conclusión final de los modelos globales es muy simple: El mundo es un sistema complejo, interconectado, finito y con relaciones entre ámbitos de la ecología, sociedad, psicología y economía. Solemos actuar como si esto no fuera así, como si fuera divisible, separable, simple e infinito. Nuestros persistentes problemas nacen directamente de esta falta de percepción.

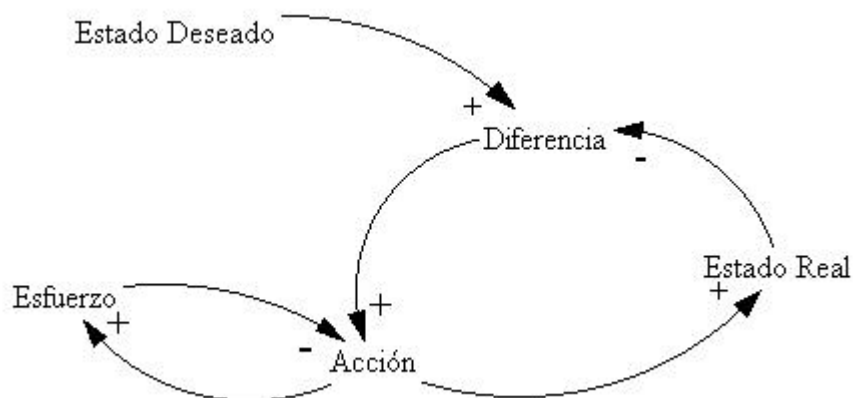
Nadie quiere o trabaja para generar hambre, pobreza, polución o la eliminación de las especies. Muy poca gente está a favor del uso de las armas, del terrorismo, del alcoholismo o la inflación. Así pues estos fenómenos son producidos por el sistema actual como un todo a pesar de los esfuerzos que se realizan en su contra. En algunos casos las políticas empleadas solucionan los problemas. Pero muchos problemas se resisten a cualquier solución desde hace mucho tiempo. Tal vez hace falta una nueva forma de mirar, para solucionar estos problemas.

3. DINÁMICA DE LOS SISTEMAS SOCIALES

El esquema Estado Real – Deseado nos muestra en un Diagrama Causal los principales elementos que forman el subsistema de información de las personas y que nos sirve de base para estudiar muchos de los aspectos de su comportamiento. En este esquema representamos como las personas están permanentemente comparando su Estado Real con el Estado de Deseado, y en base a la Diferencia entre ambos realizan Acciones para aproximar el valor del Estado Real al del Estado Deseado, valorando el Esfuerzo que se requiere para ello.



En base al esquema dinámico de Estado Real – Estado Deseado – Diferencia – Acción vamos a poder estudiar algunos comportamientos de las personas y de los grupos sociales. Los modelos de simulación de sistemas físicos se apoyan en general en la hipótesis de que el sistema analizado se halla sujeto a las leyes de la física en general y de la gravedad en particular.



Para la creación de modelos de simulación de sistemas sociales y humanos nos deberemos basar en general en la hipótesis de que las personas perciben la realidad de forma correcta y actúan con lógica. Así podremos ver con claridad aquellos casos en los que el comportamiento observado en el sistema estudiado tiene problemas en alguno de estos dos aspectos: bien no percibe la realidad, o bien sufre algún trastorno que le impide actuar lógicamente.

En ocasiones el ser humano decimos que actúa lógicamente pero no razonablemente. Se trata de aquellos casos en los que no valora correctamente las consecuencias del hecho o bien no valora el esfuerzo necesario para lograr su propósito. Por ejemplo tenemos a un niño que “quiere ahora” algo en particular. No valora las explicaciones de su madre de “eso luego” y estalla en una rabietta.

Veremos a continuación algunos de las posibles situaciones de los elementos del Esquema Estado Real – Deseado después comentaremos algunos de las situaciones que podemos analizar a la luz de las relaciones que existen entre ellos

3.1. El Estado Deseado

El Estado Deseado, sea a nivel individual o colectivo, es como el conjunto de necesidades que la persona quiere satisfacer. De todas ellas las que ya están cubiertas no plantean en principio ninguna acción nueva, en cambio las necesidades que no están cubiertas mueven al individuo a realizar Acciones que aproximen el Estado Real al Deseado.

Del conjunto de necesidades no cubiertas podemos observar como existe una jerarquía que define las acciones presentes de forma que estas se encaminan a cubrir algunas con preferencia a otras (Maslow). En la decisión de la Acción a realizar el individuo valora todo el conjunto de necesidades no cubiertas y las consecuencias de las mismas que puede prever.

Veamos a continuación posibles situaciones del Estado Deseado y algunos ejemplos de ellas.

► LA PERSONA QUE MODIFICA SU ESTADO DESEADO

En ocasiones los individuos tienden a modificar su Estado Deseado bien sea para mejorarlo o aumentarlo, cuando ya ha logrado el Estado Deseado anterior, y tras un tiempo se plantea un nuevo reto mayor que el anterior (ej: un deportista).

También es posible una modificación de Estado Deseado a la baja, cuando:

1) Percibe que lograr el Estado Deseado requiere acciones físicamente imposibles (ej. quiere cenar con Marilyn), o dichas acciones son ilegales (ej. quiere asaltar un banco).

2) Percibe que el esfuerzo requerido es superior a sus fuerzas (ej. quiere ser astronauta).

3) Considera que el Estado Real ya es satisfactorio. (ej.: estudiante que desea matricula y se conforma con una nota de aprobado que es su Estado Real).

4) Renuncia a su propio Estado Deseado para dedicar sus esfuerzos a ayudar a satisfacer un Estado Deseado de otras personas (ej: atender a un pariente enfermo a costa de no ir de vacaciones, misioneros, voluntarios de ONGs, etc.)

► LA PERSONA QUE TIENE UN DESEADO INESTABLE

En ocasiones el individuo muestra repentinos cambios en su Estado Deseado. Este concepto recoge tanto las necesidades no cubiertas como una cierta estructura jerárquica de las mismas: Los cambios en el Estado Deseado se pueden deber a:

- 1) Una estructura jerárquica poco consolidada.
- 2) Esta situación es indicativa también de una ausencia de puntos de referencia personales claros.
- 3) Escasa relación con otras personas, que le dificulta valorar las consecuencias en su entorno de sus cambios.

A corto plazo provocará Diferencias (Estado Real – Estado Deseado) y Acciones oscilantes, de forma que tan pronto pretende realizar una acción como la contraria. Por el contrario, a largo plazo es posible que el sistema en conjunto (la familia) se muestre inalterable o insensible a cambios en el Estado Deseado (ej. niño caprichoso).

En el plano social observamos podemos observar estos comportamientos en las dictaduras.

► LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO DIFUSO

Cuando la persona no puede establecer con una cierta precisión las características que definen su Estado Deseado nos encontraremos con que es imposible establecer su situación en relación al Estado Real y por ello se desconoce el valor de la Diferencia.

Las consecuencias más comunes de esta situación es una inhibición de la Acción. Por el contrario la claridad de los objetivos facilita la definición de la Acción que debe realizarse para lograrlos (ej.: quiero estar en Madrid el jueves por la mañana para asistir a la boda de mi hermana.).

► LA PERSONA QUE NO TIENE UN ESTADO DESEADO PROPIO

En ocasiones la persona es simplemente incapaz de establecer un Estado Deseado propio que le motive lo suficiente como para plantearse hacer algún tipo de acción para lograrlo. Cuando la persona tiene dificultades y no logra establecer un Estado Deseado propio, puede tender a tomarlo del exterior (ej: una persona sigue siempre la moda porque no puede encontrar un estilo propio de vestir, un miembro de una secta o religión).

Lo interesante de este comportamiento es que el Estado Deseado tomado suele ser mucho más persistente que el que el individuo se construye por su propia iniciativa. El motivo es que un estado deseado elaborado por el propio individuo está sujeto a su propia revisión, en cambio el estado deseado tomado del exterior no suele ser cuestionado una vez establecido como propio.

► LA PERSONA QUE NO PUEDE DECIDIR SU ESTADO DESEADO

Es posible que a alguna persona se le impida de hecho la definición de su propio Estado Deseado. La persona se halla totalmente supeditada a otra persona que le marca su Estado Deseado, con independencia del Estado Real y del Esfuerzo requerido para lograrlo. (ej.: padre autoritario, esclavo).

► LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO CERO

Cuando el Estado Deseado es cero se produce una situación interesante ya que si calculamos la Diferencia Relativa = $(\text{Estado Deseado} - \text{Estado Real}) / \text{Estado Deseado}$, tenemos que el denominador es cero, y por lo tanto la Diferencia relativa es siempre infinita.

Si la Acción depende de la Diferencia Relativa, tendremos una acción intensa y continuada. (ej.: Estado deseado: muertes por terrorismo = 0 implica represión ilimitada)

► LA PERSONA QUE TIENE MÚLTIPLES ESTADOS DESEADOS

En general una persona tiene establecidos los componentes de su Estado Deseado y su jerarquía. En ocasiones podemos hablar de que existen varios Estados Deseados. Se trata de aquellas ocasiones en las que varios componentes del tienen el mismo nivel de jerarquía.

Si estos componentes son compatibles entre si no existe ningún conflicto (ej.: leer y mascar chicle – excepto si eres Presidente -), si el Estado Deseado presenta componentes incompatibles y existe un conflicto la persona debe de escoger entre realizar uno u otro (ej.: vacaciones en el mar o la montaña).

A nivel colectivo los múltiples componentes del Estado Deseado general pueden armonizarse otorgando la misma jerarquía a todos los ciudadanos mediante el sistema de elecciones democráticas.

► LA PERSONA QUE TIENE UN ESTADO DESEADO BAJO

Podemos observar claramente la lógica que se halla bajo las enseñanzas budistas de que todo sufrimiento proviene de la pasión, y por lo tanto la renuncia es el único medio de librarse del sufrimiento. Un Estado Deseado bajo provoca una Diferencia pequeña y por lo tanto las Acciones requeridas son escasas. Podemos también observarlo igualando sufrimiento y frustración, de forma que siendo la Diferencia la causa de las frustraciones, la renuncia a un Estado Deseado anula el sufrimiento.

Desde otra perspectiva podemos decir que la felicidad tiene dos componentes, uno material y otro inmaterial. La felicidad material se obtiene adquiriendo objetos materiales y la felicidad inmaterial procede de la manera en que los objetos son empleados. Muchos objetos sólo adquieren su valor pleno cuando son empleados. Sin embargo obtener felicidad inmaterial requiere tiempo. Así pues el tener demasiadas cosas reduce el tiempo

para la felicidad inmaterial. Por ello las máximas satisfacciones materiales e inmateriales no pueden ser logradas simultáneamente: hay un límite para la satisfacción material más allá del cual la satisfacción total disminuye. En conclusión, tener mucho contradice vivir bien. La frugalidad parece ser la clave de la felicidad.

► CUANDO ESTADO DESEADO ES SIEMPRE OPUESTO AL ESTADO REAL

En ocasiones el Estado Deseado viene exactamente definido como el opuesto al Estado Real (ej.: transexual: su cuerpo tiene un sexo que es opuesto al que el desea).

Podemos observar este tipo de situaciones a nivel familiar cuando el joven adolescente se opone por costumbre a cualquier estado deseado que le sea propuesto.

3.2. El Estado Real

El Estado Real es el conjunto de parámetros que definen la situación de la persona, desde un punto de vista físico o mental. Todos los seres vivos perciben el entorno y también se perciben a sí mismos. El ser humano tiene además consciencia de la evolución temporal previsible de su Estado Real.

► LA PERSONA QUE NO PERCIBE BIEN SU ESTADO REAL

En este caso existe un Estado Real Percibido diferente del Estado Real, y también existe una Diferencia Percibida y una Diferencia real. La Acción se basa en la Diferencia Percibida no en la Diferencia real.

El resultado es que la situación de la persona no se aproxima al Estado Deseado. En ocasiones las personas no quieren percibir correctamente su Estado Real porque intuyen que deberán de hacer Acciones difíciles para mejorarlo (ej.: alcoholismo o ludopatía).

3.3.- La Diferencia

La Diferencia se valora entre el Estado Deseado y el Estado Real en valores absolutos. En ocasiones también es relevante tener en cuenta la variación de la Diferencia como motor de algunas Acciones, y el valor relativo de la Diferencia en relación al Estado Real o Deseado.

► LA PERSONA OBSERVA UNA DIFERENCIA PERSISTENTE

Si las Acciones no surgen efecto con la rapidez esperada, y el Estado Real no se modifica, el valor de la Diferencia permanece constante más tiempo del esperado.

Esto puede provocar un colapso del sistema o una disminución del Estado Deseado (ej.: inmigrante sin documentación).

► LA PERSONA TIENE UNA DIFERENCIA NEGATIVA

En algunas ocasiones por extraño que parezca las personas se enfrentan a una situación en la que el Estado Real supera al Estado Deseado en una magnitud apreciable. Sin duda es una situación placentera para la persona afectada.

Podemos observar situaciones de este tipo cuando una persona recibe un premio o una herencia inesperada.

El tipo de comportamientos que se producen en estas circunstancias son:

- 1) La persona decide modificar al alza su Estado Deseado. Con ello vuelve a tener una Diferencia positiva que le obliga a realizar esfuerzos, y desaparece la placentera situación vivida transitoriamente (ej. un “nuevo rico” se crea una empresa con el capital que ha recibido para aumentar su fortuna). Es un comportamiento que exige nuevos esfuerzos y por lo tanto serán relativamente escasas las ocasiones que se presente.
- 2) La persona decide mantener su Diferencia negativa, y como consecuencia si no modifica su Estado Deseado inicial tiende de forma natural a reducir su Estado Real, como única forma de reducir la Diferencia. (ej. un “nuevo rico” es generoso con la familia y los amigos, porque “le sobra” el dinero). Es una situación que no requiere esfuerzo y por lo tanto será el camino que observaremos en más ocasiones.

► LA DIFERENCIA RELATIVA ES PEQUEÑA

Los sistemas y las personas no reaccionan intentando ajustar cualquier Diferencia, de forma que si la Diferencia es pequeña no tiene sentido realizar ninguna Acción.

Es conocido el experimento conocido como “Hervir la rana”. Si deseamos hacer sopa de rana y la introducimos viva en un recipiente de agua hirviendo, tan pronto como toque el agua saltará de forma automática y no podremos lograr nuestro propósito. En cambio si la sumergimos en un recipiente con agua a temperatura ambiente no opondrá ninguna resistencia. Se trata pues de hacerlo así y después ir aumentando lentamente la temperatura del agua.

3.4. La Acción

Las personas disponen de mecanismos para ajustar su Estado Real al Estado Deseado en función de la Diferencia. Estas acciones son proporcionales a la magnitud de la Diferencia y en el sentido que aproxima el Estado Real al Estado Deseado.

► LAS ACCIONES ESTAN BASADAS EN VARIACIONES DE LA DIFERENCIA

En ocasiones las personas reaccionan en base a los cambios que experimenta la Diferencia, ya sea en valores absolutos (ej.: velocidad real – velocidad máxima permitida) o bien relativas (ej.: una rana reacciona ante cambios relativos de temperatura, y por ello podemos hervirla sin que salte de la olla si aumentamos lentamente la temperatura del agua).

► CUANDO EL ESFUERZO INHIBE LA ACCION

En ocasiones el esfuerzo requerido para la Acción es tan grande que induce a no realizar ninguna acción (ej.: apagar un fuego en el bosque).de forma que el sujeto queda paralizado.

► GENIOS Y ARTISTAS

Una persona normal realiza las Acciones lógicas en base a la Diferencia que existe en un momento determinado. Un artista o un genio pueden plantear ante la misma Diferencia unas acciones muy diferentes (ej.: no hay ejemplos porque el profesor no es un genio ni un artista).

► LOS PROBLEMAS DE HOY PROVIENEN DE LAS ACCIONES DE AYER

Las Acciones no producen solo efectos sobre el Estado Real, sino que también afectan a otras partes del sistema o al estado de otros sistemas. Los efectos secundarios de las acciones de hoy no son inmediatos (ej.: hoy apartas un petrolero de la costa, y luego tienes durante años la marea negra).

► CASOS MUY PARTICULARES

Dios es el ser que por definición consigue por su simple voluntad que el Estado Real sea igual que el Estado Deseado siempre y de forma instantánea. En el sentido contrario un suicida es una persona que percibe que su Estado Real va a ser siempre muy diferente del Estado Deseado, ninguna acción tiene sentido y no es tolerable (suicida).

3.5. El comportamiento humano

Podemos utilizar el Esquema Estado Real - Deseado para analizar algunos de los múltiples aspectos del comportamiento humano.

► LA PERSONALIDAD

De las múltiples facetas de la personalidad podemos hablar de una personalidad agresiva como aquella que corresponde a una persona que pretende cerrar con rapidez la Diferencia que existe. Por el contrario una persona tranquila sería la que es capaz de tolerar

una Diferencia durante un prolongado periodo de tiempo. Podemos considerar a una persona introvertida como aquella que oculta su Estado Deseado, no su Estado Real, porque no quiere recibir críticas sobre el mismo. Una persona reflexiva será aquella que pondera mucho los costes de la Acción y los efectos secundarios de la misma.

► SALUD MENTAL

Podríamos definir como una persona mentalmente sana aquella que percibe su Estado Real correctamente, y que realiza Acciones: 1.- proporcionales a la Diferencia 2.- encaminadas a cerrar la Diferencia y 3.- que valora el Esfuerzo necesario y los Efectos secundarios que tendrá.

► MEMORIA

La Memoria recoge no sólo la experiencia de la persona basada en los hechos pasados sino también el Estado Deseado. Ambas cosas definen la identidad del individuo. La película Memento (2001) es un buen ejemplo de pérdida del Estado Deseado y su redefinición continuada. En esta película el personaje padece una dolencia por la que su memoria se limita a la última media hora y por lo tanto desconoce quienes son sus familiares, amigos, su casa, su auto, quienes le ayudaron y quienes le perjudicaron en el pasado. Y es consciente de que el amigo o enemigo de ahora será olvidado muy en breve, y ellos también lo saben. Su Estado Deseado es ambiguo porque en no sabe con certeza si el es (o ha sido) siempre policía o ladrón, ya que la identidad de la persona existe en tanto en cuanto esta tiene memoria de si misma.

► CAPACIDADES DE LA PERSONA

Decimos que una persona tiene más capacidades que otra cuando dispone de un conjunto de instrumentos mentales que le permiten lograr su Estado Deseado mediante Acciones con un menor esfuerzo. Las capacidades deben de ser desarrolladas porque necesita valorar su Estado Real, el Esfuerzo y los Efectos Secundarios, y esto requiere un conocimiento del entorno que no es innato.

► MOTIVACION

Podemos pensar en la motivación como el conjunto de elementos que acaban ayudando a la persona a definir su propio Estado Deseado. La formación del Estado Deseado no se hace sobre el vacío sino en base a una realidad cotidiana. Aquella persona que en su infancia y juventud percibe y valora muy diferentes opciones es la que va seleccionando opciones y formando en definitiva un Estado Deseado sólido. Sin duda a lo largo de la vida la persona va definiendo sucesivos Estados Deseados, pero como en la famosa película del ciudadano Kane, son sus motivaciones iniciales las que marcarán toda su vida.

► EMOCIONES

La percepción del Estado Real al transmitirse a la Memoria para ser almacenada evoca por asociación recuerdos, que pueden provocar emociones en sentido positivo (euforia) o negativo (depresión).

► CONDUCTA SOCIAL

La persona puede buscar ayuda en los otros para cerrar su Diferencia en base a la persuasión, la búsqueda de personas con intereses comunes, ... La conducta social de una persona puede llegar a ser agresiva si no recibe voluntariamente la ayuda que el individuo demanda.

► RELACIONES HUMANAS

La capacidad de percibir las necesidades, el Estado Deseado, del otro y compartirlas define a las personas con buenas relaciones interpersonales. El caso concreto de un matrimonio es la máxima expresión de esta capacidad de compartir un Estado Deseado con otra persona. Así podemos verlo tanto como una forma de compartir un Estado Deseado como en su forma más profunda como un “intercambio” de Estados Deseados, en el que cada uno de los miembros del matrimonio valora el Estado Deseado de la pareja tanto o más que el suyo propio.

Este hecho es muy importante desde el punto de vista de la estabilidad personal, ya que como veíamos antes hay muchos factores que inducen a una persona a modificar su Estado Deseado, esto no es tan fácil cuando el Estado Deseado de una persona se halla ligado a otra persona.

Afirman los antropólogos que no existe ninguna explicación para el crecimiento desmesurado del volumen del cerebro humano que no sea la necesidad de lograr una armonía entre los miembros del grupo al que pertenece. Se observa que aquellas especies que viven en grupos pequeños o como individuos aislados presentan un volumen del cerebro mucho menor que aquellas otras especies que viven en grupos, y este volumen es proporcional al tamaño del grupo al que pertenecen.

► PERCEPCION

Un aspecto básico en la valoración de la Diferencia – que anticipa la Acción -es la correcta percepción de la realidad propia y del entorno. Las personas tienen un sistema neuronal muy preciso para percibir su propio estado. Es imposible simplificar pero cuando una persona no percibe correctamente su Estado Real no existe ningún mecanismo que pueda hacer prevalecer otra opinión sobre su percepción de la realidad, y únicamente una persona de toda confianza suya le puede abrir alguna duda en su incorrecta percepción. Por otra parte nuestra percepción del entorno, cada vez más tecnificado hace que los errores de percepción puedan tener consecuencias irreversibles. Un niño no puede percibir el peligro

que hay en un enchufe, y como este hay cientos de trampas mortales a nuestro alrededor para las que necesitamos una apropiada educación.

► ANSIEDAD, ESTRÉS, DEPRESION

Cuando un individuo mantiene de forma prolongada una Diferencia importante, se provocan estados de ánimo como son: ansiedad, estrés o depresión. Estos son síntomas de un próximo colapso del sistema. Sus efectos son la ausencia de Acciones eficientes en el sentido de mejorar su Estado Real, y por ello, en muchos casos el camino más sencillo es la reconsiderar la viabilidad de su Estado Deseado.

4. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO

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:**

1º. Haz una fotografia mental al sistema y lo que salga en ella (personas, km2, litros, animales,..) eso son **Niveles**.

2º. Busca o crea unos elementos que sean "la variación de los niveles", (personas/dia, litros/hora, ...) y esos son los **Flujos**.

3º. El resto de elementos son las **Variables Auxiliares**.

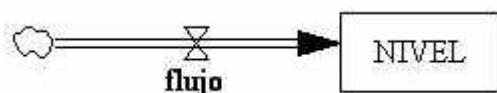
Como regla general esto sirve para empezar. Después ya se pueden ir haciendo retoques, y así los Niveles que vayan a permanecer constantes (m2 de la habitación) en vez de definirlos como Niveles se pueden definir como variables auxiliares tipo constante que es más sencillo. Este es todo el procedimiento. 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.



ej.: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.

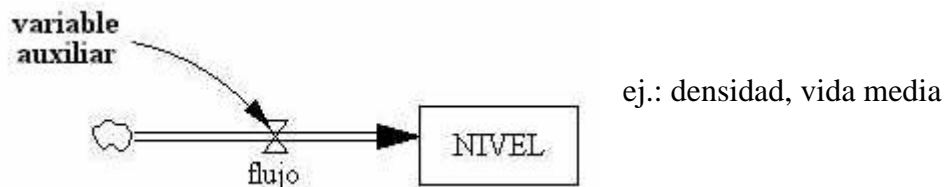


km2/año

ej.:personas/dia,



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

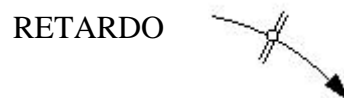


Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales materiales". Por otra parte existen los llamados "canales de información", que transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan.



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 Δt . 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 Δt 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.