

# Teoría de sistemas y su aplicación en medicina

José Alfonso Delgado Gutiérrez \*  
José Manuel de la Riva Grandal \*\*

## SUMARIO

La Informática está estrechamente relacionada con un conjunto de teorías y, a partir de éstas, con las metodologías correspondientes. Todas ellas están basadas en el concepto de «SISTEMA», de gran aplicación en diversos campos científicos, entre ellos la Medicina. En este artículo se ofrece una visión general de estas tendencias, que tienen a los sistemas como elemento común.

## SUMMARY

Informatics is closely related with a set of theories and from them with the correspondent methodologies. All these theories are based on the «SYSTEM» concept. This one is widely applied in many scientific fields, Medicine is between those. This paper gives a general point of view about these trends upon a systems approach.

## INTRODUCCION

En el conjunto de nuevas tecnologías desarrolladas en torno a la Informática, existe una serie de técnicas orientadas al análisis de los problemas supuestamente abordables con el ordenador, a las que se ha hecho referencia parcial en el artículo anterior al hablar del análisis de sistemas. Dentro de la jerga informática el término «sistema» se utiliza constantemente. Aunque el significado de este término es intuitivo, y, dentro de las ciencias médicas tampoco es una palabra desconocida, sin embargo detrás de este término se esconde toda una teoría, de alto contenido filosófico, y con gran aplicación práctica, que conviene conocer aunque sea en términos generales, ya que ello nos puede permitir plantear con mayor claridad de ideas los problemas de nuestra área de conocimiento.

El objeto de este artículo es exponer a grandes rasgos los aspectos más destacables de la misma, y resaltar su aplicación en el análisis de los problemas de índole médico-sanitaria.

## EL PROCESO DE LA OBSERVACION

La realidad está ahí, tal cual es, y nosotros mediante nuestros sentidos que recogen aspectos parciales de esa realidad, y nuestro cerebro que analiza las señales que proceden de ellos, nos formamos una imagen de la realidad, tanto más completa cuanto más cantidad y calidad de datos recibimos del exterior.

El proceso mental que nos permite conocer la realidad es asombrosamente complicado, máxime cuando no sólo no nos basta con captar la realidad, sino que vamos más allá, hasta intentar comprender cómo y por qué suceden las cosas tal cual las vemos.

Para llegar a ese grado de comprensión, hemos de estructurarnos mentalmente un mecanismo tal que al final, más o menos, la realidad se comporte como si sucediesen los acontecimientos de la manera por nosotros imaginada. De ahí surgen las teorías, que intentan explicar realidades poco comprendidas hasta entonces. El siguiente paso consiste en profundizar cada vez más en nuestro conocimiento objetivo de la realidad

para comprobar que efectivamente los mecanismos por nosotros imaginados coinciden con los acontecimientos reales. Podemos llegar a dos conclusiones. La teoría es falsa o la teoría se cumple. Si es falsa, lo puede ser desde lo absoluto, es decir, totalmente incorrecta, o desde lo relativo, es decir, que necesita correcciones más o menos profundas para que coincida con los acontecimientos reales. Y, qué duda cabe, pueden producirse espejismos; por ejemplo, Ptolomeo en su *Almagesto* efectuaba mucho mejor la predicción de las posiciones de los planetas que la teoría de Copérnico, sin embargo la comprensión que ésta proporcionaba sobre el sistema solar demostraba el error de concepto de aquél. Este es un ejemplo de cómo el proceso de observación y explicación de los fenómenos es complicado y, a veces, resbaladizo (Hanson, 1985).

Al observar la realidad captamos «datos» de esa realidad por nuestros sentidos. Estos nos vienen de forma indiscriminada, y nuestro cerebro se encarga de efectuar un trabajo de depuración, de forma que al final nos formamos una imagen de la realidad con los datos que

nuestro cerebro ha considerado como **RELEVANTES**. El resto quedan como accesorios, o complementarios, de forma que en principio no influyen significativamente en la imagen de la realidad que nos formamos.

De alguna forma, para conocer la realidad tenemos, necesariamente, que simplificarla.

Semejante proceso se denomina «reduccionismo», y se basa inicialmente en dos principios. Primero determinar para qué queremos conocer la realidad. El segundo determina el cómo se lleva a cabo dicha simplificación, que depende de un conjunto de factores objetivos y subjetivos del investigador, tales como sus conocimientos, método, ideología, etc (Martínez Vicente, 1983).

El para qué nos dirá hasta dónde vamos a profundizar. No es lo mismo el conocimiento de divulgación, que el conocimiento profesional. Por ejemplo, en los libros de divulgación médica, al gran público se le suministran datos tal que puedan conseguir un conocimiento superficial sobre Medicina, cuyo único objetivo (para qué) es simplemente tener una idea de las enfermedades. Un libro de texto profundiza en su análisis tanto como sea necesario, porque el objetivo (para qué) del conocimiento no es tener una idea general de los procesos patológicos, sino poder diagnosticar para curar la enfermedad de un ser humano, misión que implica un alto grado de responsabilidad profesional.

El cómo depende de la metodología de trabajo.

## CONCEPTO DE SISTEMA

Sistema es un término genérico que se emplea para denominar a un conjunto de elementos o reglas que, ordenadamente relacionados unos con otros, contribuyen a un fin concreto (Bertalanffy, 1976).

Semejante definición contiene tres elementos básicos que configuran el concepto SISTEMA.

1. *Existe conjunto de elementos (cosas, reglas).*
2. *Están organizados, ordenados y relacionados entre sí.*
3. *Existe un fin que le da razón de ser como sistema.*

En realidad, los sistemas son una abs-

tracción, no existen tangiblemente como tales, sino que son un concepto mental al que necesariamente tenemos que acudir para comprender la realidad. Es por ello que los sistemas son imágenes comprensibles de una realidad tan escurridiza para nosotros, que de otra forma se nos escaparía de las manos. En otras palabras, los sistemas constituyen esquemas mentales que nos permiten comprender el mundo que nos rodea.

Es por ello que, ante una realidad concreta, tantos observadores la examinen, tantas versiones se formarán sobre la misma. Es decir, sobre la realidad, diversos investigadores establecerán diferentes sistemas. Y ello por dos razones, la primera según la finalidad que persiga cada uno (para qué), y la segunda según el cómo proceda cada uno en su examen y análisis.

Pongamos un ejemplo: cinco personas se suben a un automóvil y van al campo, las cinco se apean del coche en el mismo sitio, y observan el mismo paisaje. Aparentemente las cinco están recibiendo por sus sentidos los mismos datos objetivos procedentes de la realidad, que es la que les suministra el paisaje en el que se encuentran. Teóricamente, al recibir los mismo datos de la realidad, los cinco tendrían que describir ésta de la misma forma. Pero resulta que el primero es un ingeniero agrónomo, el segundo es un botánico, el tercero un pintor, el cuarto un campesino y el quinto un poeta. Observando la misma realidad, las versiones van desde un análisis edafológico, hasta una poesía, pasando por la descripción más simple que la daría, probablemente, el labriego. Conclusión, una misma realidad, diferentes versiones, diferentes sistemas.

Dicho esto, queda claro que a partir de ahora nos moveremos en el terreno de las ideas, que intentan representar la realidad que está ahí, y de la que captamos lo que nuestros sentidos pueden percibir, y sólo eso. Y de lo que pueden percibir, nuestro cerebro se queda sólo con aquello que le conviene, según el para qué y el cómo captar y comprender la realidad.

## CONCEPTO DE MODELO

Si aceptamos que un sistema es una representación mental de la realidad, el asunto queda todavía demasiado abstracto. Hay que darle a este sistema una representación formal, de manera que lo comprendido por nuestra mente lo podamos expresar mediante el medio de comunicación que sea a otra persona, de manera que, sin haber visto o captado esta realidad, a través de nuestra explicación pueda hacerse ella en su mente

una representación mental lo más similar a la nuestra (Aracil, 1978).

El método que utilizamos para representar formalmente la realidad, concebida como sistema, es el de la construcción de modelos.

Así como sobre una misma realidad puede haber una gran variedad de sistemas, sobre uno en concreto puede haber diversos modelos. Por su parte, un modelo sirve para algo, y debe tener siempre una justificación. Por ello, dependiendo de para qué va a servir, el modelo que se adopte será de un tipo o de otro.

Los modos de diseñar un modelo representativo de un sistema pueden ir desde su mera narración literaria hasta el más minucioso análisis de su comportamiento y la predicción de fenómenos. Dependiendo de para qué se quiera, se utilizará un modelo u otro.

Un modelo como tal tiene que ser útil; debe servir para algo, bien sea conocer, analizar o predecir. Tanto más útil será cuanto mayor comprensión hayamos conseguido de la realidad. Así, en el proceso de modelización pasamos por una serie de fases, representada por otros tantos tipos de modelos.

## Modelos literarios

Suponen la descripción verbal de la realidad. Es la forma en la que habitualmente se expresa el conocimiento de los fenómenos reales. Esta descripción está sometida a una gran carga de subjetividad dependiente del autor. Dos autores pueden describir en sus respectivos libros el mismo fenómeno, y aunque básicamente digan lo mismo, sin embargo, el texto de un autor nos gustará más que el de otro, bien porque uno sea más concreto, o porque ofrece mayor número de detalles, o simplemente porque la redacción y sintaxis esté más conseguida en uno que en otro.

Estos modelos son útiles en tanto transmiten conocimientos, y tienen el máximo grado de realismo.

## Modelos gráficos

Cuando leemos un texto complejo sobre un tema, cuánto agradeceremos que se incluyan en él figuras o gráficos explicativos del texto. Conseguir reducir la realidad compleja de un fenómeno en una figura o gráfico es un esfuerzo de síntesis, que necesariamente implica un reduccionismo, pero que facilita extraordinariamente la comprensión del sistema que el autor está intentando explicar en el texto. Todo esto viene a corroborar aquel refrán de que una imagen vale más que mil palabras.

Con el modelo gráfico se pierde realismo, puesto que al hacer el gráfico hemos despreciado aquel enjambre de elementos accesorios que en principio no interviene significativamente en el comportamiento del sistema. Nos centramos en los elementos básicos y fundamentales del sistema. Como contrapartida ganamos en utilidad, puesto que el modelo nos permite conocer mejor las relaciones entre estos elementos fundamentales.

Estos modelos gráficos pueden materializarse incluso en artilugios mecánicos o plásticos, que ayudan a comprender mejor el sistema.

Modelos gráficos hay de diversos tipos; en las técnicas de modelado hay un tipo especial que está orientado a facilitar el diseño de los modelos matemáticos. Este tipo de gráficos se denomina Diagrama de Forrester, utilizado en un tipo especial de técnica de modelado de sistema, denominado Dinámica de Sistema (Aracil: op. cit.). La figura 2 muestra un proceso de modelado de un entorno ecológico donde dos especies compiten entre sí siendo una depredadora de la otra. Este fenómeno fue estudiado por Volterra, y ha podido ser

materializado en un sistema de ecuaciones tal y como se expresa en la figura.

**Modelos matemáticos**

Es el máximo nivel de abstracción de un sistema. Es el modelo más alejado de la realidad, el más reducido de todos. Consigue reducir un sistema complejo a una ecuación o serie de ellas. En estas ecuaciones se contemplan sólo las variables significativas, afectadas por un coeficiente según su mayor o menor importancia dentro del sistema, y siempre suele haber una variable última que representa o puede representar el ruido del sistema, es decir, aquel conjunto de variables que contempladas por separado no poseen suficiente significación, pero todas juntas, si no se contemplan, desplazarían el modelo del sistema real.

Los modelos matemáticos suponen el máximo de reduccionismo, pero son de máxima utilidad, si están bien concebidos, puesto que permiten la técnica de simulación.

La simulación es una técnica que requiere necesariamente el concurso de un ordenador para poderse llevar a cabo. Las ecuaciones del modelo se introdu-

Y es verdad, a veces un gráfico o un esquema pueden expresar un fenómeno mejor que un texto largo y complicado. Lo difícil es llegar a ese gráfico que sintetice el sistema en unos cuantos símbolos.

Lo que consigue el modelo gráfico es reducir todo el sistema en una serie de elementos que son los fundamentales, aquellos que tienen relevancia en el comportamiento de todo el sistema, es decir, los que definen el sistema tal cual es. Y la representación gráfica permite captar en un golpe de vista no sólo los componentes fundamentales del sistema, sino también sus interrelaciones, que suelen venir expresadas por flechas.

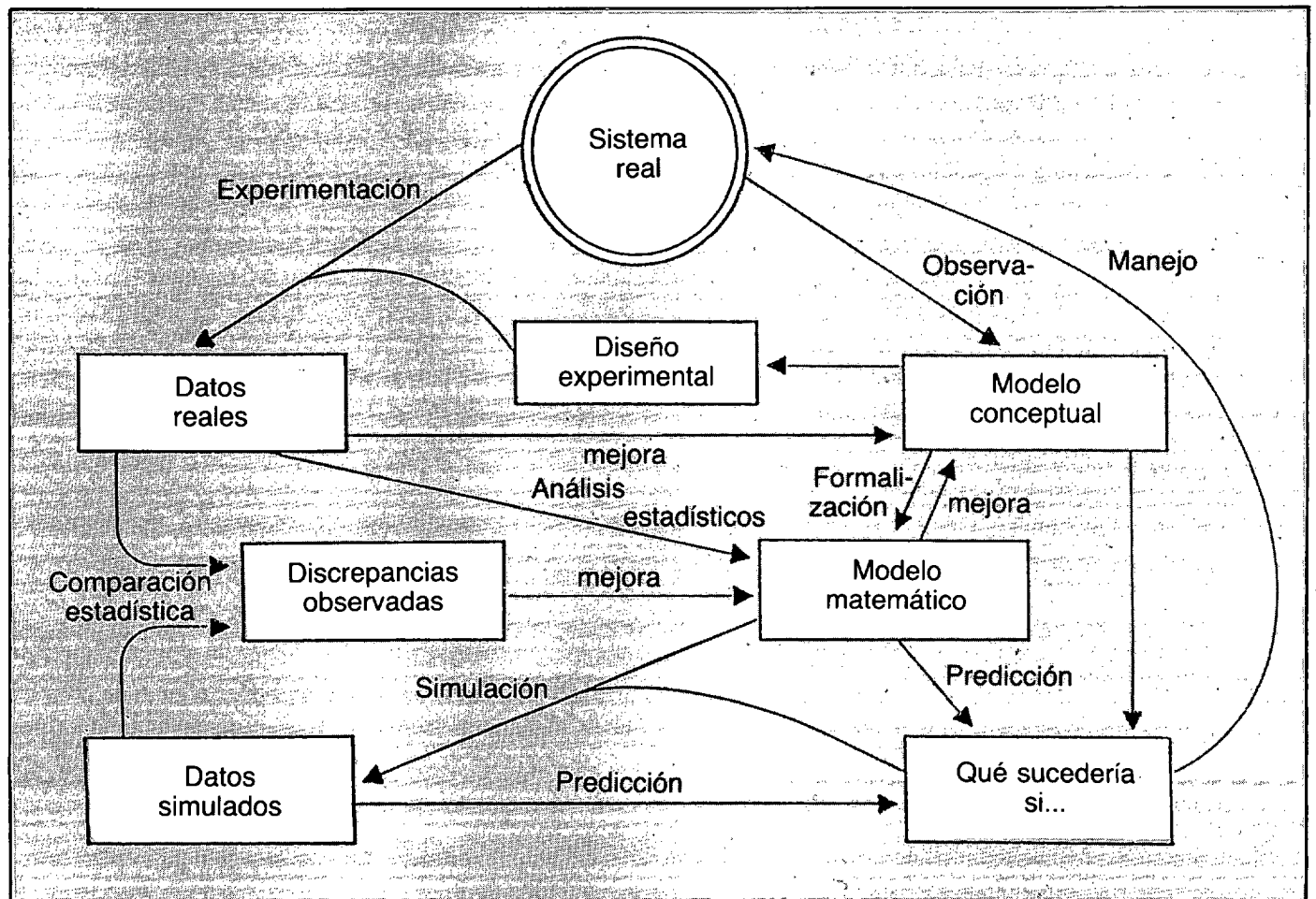


Figura 1. Esquema de un proceso de modelización de un sistema real y su simulación. Tomado de J. Spain: BASIC microcomputer models in biology».

cen por programa en el ordenador y éste mediante el programa adecuado de simulación puede manejar el modelo simulándonos situaciones reales que nosotros podemos modificar a nuestro antojo (Spain, 1982).

Si analizamos un poco en detalle la figura 1 nos damos cuenta de que a través de la observación surgen los modelos conceptuales cuya más inmediata manifestación es su descripción literaria y gráfica. Una vez obtenido este modelo se pasa al diseño experimental que nos permite obtener datos reales del sistema. Por sí mismos estos datos pueden mejorar el modelo conceptual pero un adecuado análisis estadístico de los datos, con la aplicación de todas las técnicas necesarias que la Estadística Teórica nos pone a nuestra disposición, nos permite en sucesivos ensayos llegar al modelo matemático (si ello es posible). Una vez obtenido el modelo, la simulación por ordenador del mismo nos permite obtener datos simulados, que comparados mediante test de significación estadística, con los obtenidos experimentalmente nos van a validar o rechazar nuestro modelo. Una vez alcanzada una aproximación formal al sistema real suficiente como para que las diferencias entre el modelo y el sistema sean sólo atribuibles al azar, podemos trabajar con el modelo tal que nos permita hacer predicciones sobre el sistema real.

Este es el más alto grado de precisión al que se puede llegar en la técnica de modelización.

La utilización de uno de los tipos de modelos que hemos indicado depende de la utilidad que tenga para nosotros. La destreza consiste en aplicar la herramienta adecuada (modelo) al problema en cuestión (sistema). No siempre la técnica más precisa es la más útil. De qué nos serviría pesar la carne en una balanza electrónica con una precisión de milésimas de gramo. Y una balanza de mercado para pesar el contenido de una cápsula de medicamento.

De lo expuesto hasta ahora, podemos resumir que el proceso de sistematización y modelización es un artefacto intelectual destinado a conocer y comprender mejor la realidad.

Implicítamente los hombres han empleado este tipo de proceso mental desde siempre. Lo que ha pasado es que hasta la revolución científica y sobre todo hasta la era informática, muy pocas personas han estudiado este proceso básico del razonamiento humano.

En la medida que el hombre ha tenido medios no sólo para analizar los sistemas reales, sino para generar nuevos sistemas, y en el seno de un mundo cada vez más complejo, ha sido en la que se ha visto obligado a reflexionar sobre la realidad que estudia y que crea, sistematizándola.

El boom de los sistemas ha sido espectacular desde la Segunda Guerra Mundial hasta ahora. Todo el mundo habla de sistemas, y sobre ellos se han generado diversas teorías que han intentado estudiarlas, unas desde un punto de vista general, otras desde uno específico.

### **TEORIA GENERAL DE SISTEMAS**

Resulta una necesidad acuciante que en un mundo como el nuestro, cada día más complejo, intentemos buscar nuevos métodos para intentar comprender y manejar una realidad que nos desborda por su vertiginosa forma de evolucionar hacia unas estructuras más y más complicadas. Sería imposible controlar nuestro mundo con los mismos métodos de trabajo de hace un siglo.

El concepto de sistema ha permitido desarrollar un método de análisis de la realidad mediante el que, al menos, podemos entender algo mejor nuestro entorno.

Desde muchas áreas de la Ciencia se ha iniciado ese concepto, y hoy día no hay disciplina científica en la que la palabra «sistema» no aparezca en su glosario de términos. Prácticamente todo el mundo utiliza esta palabra. Pues bien, si desde la Física hasta la Biología y desde la Psicología hasta el Arte, todo el mundo utiliza el concepto «sistema» en sus lucubraciones mentales, ¿es posible que todas estas áreas científicas tengan algo en común? ¿es posible que los sistemas en Física tengan algún tipo de relación, aunque sólo sea tangencialmente, con los sistemas sociales? En resumen, ¿pueden encontrarse las propiedades y leyes que definen y rijan a un sistema con independencia del área de la Ciencia a la que se aplique? ¿Se puede elaborar una Teoría General de los Sistemas?

Este ha sido el intento realizado al desarrollar esta teoría general.

La «Ciencia de los sistemas» (Bertalanffy, 1979) se ha convertido en una innovación en ingeniería, requerida por la complejidad de los «sistemas» en la tec-

nología moderna; hecho palpable si nos detenemos a analizar la complejidad de una planta de proceso industrial, o un avión, un barco, un centro de proceso de datos, etc. Así, para los ingenieros el concepto de sistema es un viejo conocido de sus libros de texto.

Para los médicos y biólogos tampoco nos suena raro esta palabra, puesto que desde la carrera hemos oído hablar y hemos estudiado multitud de fenómenos y estructura biológica bajo el prisma de los sistemas: «sistema nervioso central», «sistema renina-angiotensina», «sistema hipotálamo-hipófisis», etc.

Pues bien, la Teoría General de Sistemas es fundamentalmente un campo claramente orientado hacia las matemáticas, que intenta hacer abstracción de los sistemas reales, para intentar averiguar las leyes de comportamiento de los sistemas generales, sea cual sea su naturaleza. Visto de esta forma, la Teoría General de Sistemas es una corriente de pensamiento a caballo entre la Matemática y la Filosofía pura (Bertalanffy, 1978).

El padre de esta teoría es Ludwig von Bertalanffy, biólogo vienés nacido en 1901. Fue profesor de Biología en Viena hasta que en 1949 se trasladó a Canadá y Estados Unidos, donde desarrolló su teoría, llegando a alcanzar un considerable prestigio.

Para Bertalanffy la teoría de sistemas surge de la necesidad de dar un nuevo enfoque a la Ciencia, en áreas que se habían desarrollado defectuosamente; en concreto esto era aplicable a la Biología, Psicología y Ciencias sociales.

Dada la preponderancia que ha tenido la Física desde Galileo, para Bertalanffy ha habido una tendencia poco meditada de intentar explicar el mundo reduciéndolo al ciego azar de las leyes físicas. Así, se ha intentado hacer con el ser humano, y hasta con su comportamiento. La consecuencia ha sido un verdadero fracaso que ha provocado un incesante ir y venir de teorías que no han sabido atacar los auténticos problemas, al intentar interpretar la existencia por analogías de una Ciencia, la Física, que no lo puede explicar todo.

Por otra parte, y dado este fracaso, se ha producido la tendencia contraria, que ha sido la de hacer de cada área de la Ciencia un reino aislado con su propia metodología y su propia base de conocimientos. Esto ha conducido al laberinto de las especialidades y subespecialidades, con el consecuente aislamiento de los científicos y el correspondiente desconocimiento de todo lo que no sea el reducido dominio de la subespecialidad.

Estas dos tendencias han dado lugar a dos paradigmas antagónicos: el paradigma

ma del poder y el paradigma del conocimiento. El primero aboga por encontrar una metodología universal que nos permita analizar, comprender y manejar la realidad. El segundo aboga por el conocimiento como única forma de conseguir este objetivo.

Si contemplamos ambos paradigmas como antagonistas, y adoptamos ante ellos una postura maniquea, caeremos en sus correspondientes trampas. Si optamos por el paradigma del poder caeremos en la trampa por la que una llave puede abrir muchas puertas, cosa que no es cierta. Si optamos por el paradigma del conocimiento nos aislamos en una parcela reducida de la Ciencia sin posibilidad de extender nuestro saber a otras áreas salvo a fuerza de un estudio a granel y sin método de aquéllos.

La Teoría General de Sistemas ha tendido, sin ocultarlo, hacia el paradigma del poder. Ha estudiado los sistemas con independencia de su aplicación concreta, con la esperanza de que partiendo de lo general, se pueda comprender lo particular, sea del área que sea.

Para esta teoría no es válida la utilización de las analogías, método por el cual dos entidades diferentes pueden regirse por un aparente patrón común de comportamiento, pero partiendo del conocimiento de éste en una de ellas, e interpretando el comportamiento de la segunda a partir de las propiedades de la primera. Esto, según Bertalanffy, ha ocurrido al intentar explicar el mundo a partir de las leyes físicas y muy concretamente en la Biología. Los que sí son válidos son las homologías o isomorfismos, por las que dos fenómenos diferentes difieren en su aspecto externo pero las leyes repectivas son formalmente idénticas. Que dos fenómenos puedan, con independencia de los hechos que generan, regirse por leyes formales idénticas, permite extraer de ellos el sistema, en abstracto, por el que se rigen, y comprobar que en esencia son idénticos o muy similares. Un ejemplo de isomorfismo lo tenemos en el comportamiento de las epidemias y la propagación de rumores (Aracil, op. cit.); bajo unos supuestos de partida, la curva en campana de propagación de una epidemia es muy

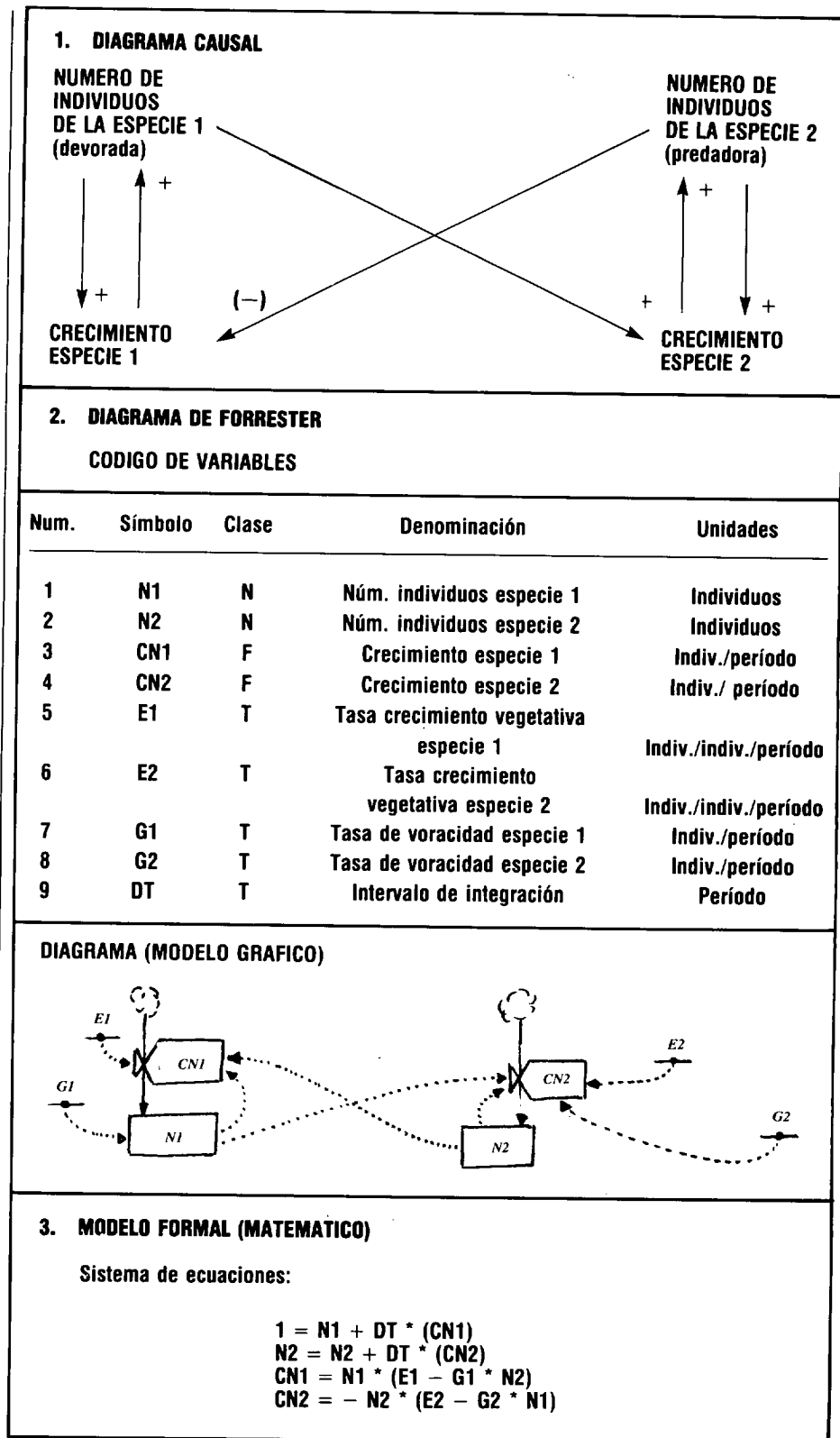


Figura 2. Proceso de modelado de un sistema de competencia ecológica de dos especies (zorros que se comen a conejos). Ecuaciones de Volterra.

similar a la de un rumor. En ambos casos hay población susceptible y población inmunizada. Dos fenómenos que no tienen nada en común, salvo que sus respectivos sistemas son isomorfos. Aceptar los isomorfismos en la Ciencia es el axioma necesario para que esta Teoría tenga sentido.

Con Galileo y Newton la Física alcanzó su esplendor, de forma que la tendencia en Biología era comparar el ser vivo a un complicado mecanismo de relojería. Cuando se desarrolló la Termodinámica al ser vivo se le compara con una máquina térmica. Cuando se entró en la era cibernética el hombre se convirtió en un au-

modelizarse con buenos resultados, siendo de destacar su aplicación a la Ecología y Bioquímica.

Pero lo que la Teoría de Sistemas pretendía para todas las áreas de la Ciencia no ha sido posible. Se intentó, partiendo de una teoría general, aplicarla al máximo número de ciencias aplicadas. Este paradigma del poder ha tenido éxitos parciales, pero no ha sido completo.

Donde esta filosofía de pensamientos ha cuajado con éxito ha sido en el campo de la informática.

Por lo demás, ha sido, y sigue siendo, un enfoque diferente de la Ciencia, que intenta aproximar campos alejados mediante el empleo de una metodología que las unifique. En parte se ha conseguido, y en parte no. El éxito radica en que al enfocar la realidad, del tipo que sea, bajo la visión sistemática, se facilita extraordinariamente la comprensión de ésta. El fracaso, en unos casos relativo y en otros rotundo, radica en que hay áreas de la Ciencia que, acaso sea porque no son bien conocidas, no permiten la total o parcial aplicación de esta teoría a la realidad que estudian. El problema está en que, en el otro extremo, el paradigma del conocimiento tiene su razón de ser. Para conocer un área de la Ciencia no basta con tener una buena metodología y sistemática de trabajo; hace falta estudiar y conocer hechos concretos. El conocimiento de las cosas avanza a más velocidad que su interpretación.

Los fenómenos suceden, están ahí, se pueden incluso alterar, modificar y corregir sin que se conozca bien el por qué sucede así. Ejemplo de ello lo tenemos en farmacología, donde un medicamento sabemos que cura una enfermedad, pero no sabemos por qué.

Conseguir llegar a comprender la realidad tanto como para lograr obtener el modelo matemático que la rige puede llevar demasiado tiempo, y mientras tanto, a pesar de todo, el conocimiento de la misma crece incesantemente, e incluso nuestra capacidad de manejar esa realidad también. La conclusión, que hay que estudiar, es innegable. Es necesario la figura del experto, del especialista. Así como también es necesaria la figura del analista de sistemas. Son los

dos polos de un espectro, que juntos son capaces de conseguir avances considerables.

## APLICACION A LA MEDICINA

La Teoría de los Sistemas se viene utilizando en muchos campos de la Medicina y Biología, por no decir en todos, al menos implícitamente. Si nos paramos a pensar, algo de ella empleamos diariamente a la hora de plantearnos nuestro trabajo sobre todo si éste es de investigación. Es casi más Filosofía de la Ciencia que una técnica o método concreto. Donde sí desciende al terreno de la técnica es en la modelización y simulación por ordenador; razón por la cual se incluye en esta monografía.

Sin profundizar en el detalle de las diferentes técnicas de modelización, para entendernos, cualquier sistema que consigue expresarse por una ecuación o sistema de ecuaciones, está modelizado, y se puede simular su comportamiento por ordenador, siempre que la unidad de tiempo intervenga como variable.

Quizás para el médico práctico esto pueda ser sorprendente, pero mayor sorpresa es asomarse a los índices de publicaciones médicas como puede ser el Index Medicus, o el Current Contents y buscar los artículos que mensualmente se publican bajo los epígrafes «Computer» o «Model» o «Simulation» y comprobar la ingente cantidad de artículos que continuamente aparecen en la literatura en los que se utiliza, de una forma o de otra, este tipo de técnicas.

Así tenemos los modelos farmacocinéticos, los modelos de reacciones químicas, bioquímicas, desintegración atómica, etc., dentro del terreno molecular y físico. En el terreno ecológico, de poblaciones, hay un considerable desarrollo de las técnicas de modelización. Basta echar una mirada a todo lo relativo en Ecología a la dinámica de poblaciones. En Fisiología son abundantes los trabajos sobre modelos de comportamiento del sistema, en especial el cardiovascular y respiratorio. Todos ellos no lo explican todo, y pueden ser tachados de rudimentarios. También un Ford T es rudimentario comparado con los automóviles modernos.

tómata inteligente. Pero en el fondo, ninguna de estas analogías ha ido más allá de ser teorías de moda pasajeras. En el fondo un ser vivo no es ni un mecanismo de relojería, ni una máquina de vapor ni un robot, aunque en algunos aspectos se pueda asemejar a ellos.

La Teoría General de Sistemas, que tiene considerable aplicación en Biología, contempla al ser vivo como un organismo, que no tiene nada que ver con una máquina. Utiliza el concepto de sistemas y de modelos para analizar la realidad. Sobre ellos define una serie de, digamos, leyes de comportamiento; y utiliza el análisis matemático para el desarrollo de modelos formales.

Esta clara orientación matemática a la que conduce la Teoría General de Sistemas nos lleva directamente a la computación, ya que el estudio de los modelos matemáticos de los sistemas reales y su simulación requieren unos cálculos basados en ecuaciones de gran complejidad que necesitan de la potencia de cálculo del ordenador para ser tratados.

Por este camino la Biología, en colaboración estrecha con matemáticos, ingenieros e informáticos, se ha adentrado en el intrigante camino de los modelos formales. Esta vía de investigación analiza sistemas biológicos pero con una metodología que desciende hasta la obtención del modelo matemático que explique el comportamiento del sistema.

Los resultados de la Teoría de Sistemas en Biología han sido moderadamente satisfactorios, en el sentido que ha habido sistemas biológicos que han podido

## BIBLIOGRAFIA

HANSON, N. R.: «Patrones de descubrimiento. Observación y explicación». Ed. Alianza Universidad AU. 177. 42-49. Madrid, 1985.  
MARTINEZ VICENTE, J. S.: «Manual de operaciones para modelo DS». Departamento de Economía Agraria del CSIC. Madrid, 1983.  
BERTALLANFY, L. W.: «Teoría General de

los Sistemas». Ed. Fondo de Cultura Económica. Madrid, 1976.  
ARACIL, J.: «Introducción a la dinámica de sistemas». Alianza Editorial AUT. 58. Madrid, 1978.  
SPAIN, J.: «D. BASIC. Microcomputer models in biology». Addison Wesley London, 1982.

BERTALLANFY, L. W.: «Perspectivas en la teoría general de sistemas». Alianza Editorial AU. 230. Madrid, 1979.  
BERTALLANFY, L. W., ASHBY, W. R.: WINBERG, G. M. et al.: «Tendencias en la teoría general de sistemas». Alianza Editorial AU. 208. Madrid, 1978.