

LA SIMULACIÓN COMO BASE PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS-EQUIPOS

Por JULIO MARTÍNEZ TORMO

Antecedentes

Desde tiempo inmemorial, el ser humano, que ha vivido inmerso en una naturaleza compleja y generalmente peligrosa, ha venido observándola con intención de conocer sus reglas de funcionamiento, quizás con intención de poder dominarla. Durante todo este tiempo, el hombre ha ido creando explicaciones, representaciones, o modelos de funcionamiento, unas veces físicos, otras veces abstractos, que el tiempo se ha encargado de mantener o modificar según las nuevas observaciones o tendencias de pensamiento. Los mitos cosmogónicos representan un modelo de funcionamiento que explicaban los fenómenos del mundo o del universo en forma mágica o religiosa, mientras que el modelo del sistema planetario de Tolomeo, en la que expone la hipótesis acerca de los movimientos celestes, derivado de un modelo más antiguo de Hiparco de Nicea, representan intentos de explicar el funcionamiento de los cielos y la tierra.

Este proceso de modelización de la realidad observada ha seguido hasta nuestros días dando origen en su sistematización a la teoría de la modelización y que, brevemente, pasamos a explicar a continuación, con ideas obtenidas en las referencias situadas al final del capítulo.

Sistema

Se conoce como sistema a un conjunto de elementos, físicos o abstractos, interrelacionados y articulados armónicamente entre sí, de forma que

modificaciones o alteraciones en determinadas magnitudes que algún elemento puede influir o puede ser influido por los demás elementos del sistema. A las magnitudes que definen el comportamiento de un sistema se les denomina variables de un sistema y según su naturaleza configuran el carácter del mismo. Si las variables de un sistema son del tipo físico, se tendrá un sistema físico; de un modo semejante pueden configurarse sistemas económicos, biológicos, sociológicos, fisiológicos, etc.

En las ciencias experimentales se define como sistema sólo aquel sistema relativamente cerrado, es decir, un sistema cuyas interacciones con el entorno están perfectamente definidas, y cuyo objetivo es investigar una parte de la naturaleza en la que concentramos nuestro interés, llamado objeto. Un sistema no sometido a acciones exteriores se denomina sistema aislado.

Algunos fenómenos, naturales o no, tienen sus variables que cambian de una forma continua en todo su margen de actividad, como por ejemplo, el movimiento de los planetas. Los sistemas que poseen estas características se llaman sistemas continuos.

Cuando un sistema tiene unas variables cuyas cantidades (internas y externas) toman un número de valores discretos y que sólo se conocen en instantes discretos del tiempo, por ejemplo, el paso de vehículos automóviles por un puente, se denomina sistema discreto.

Cuando se tiene un sistema cuyas cantidades se consideran variables continuas, pero sus valores sólo se miden en instantes discretos del tiempo, como por ejemplo, el crecimiento de un niño, del que periódicamente se mide su estatura, se llama sistema muestreado (o pulsado).

Modelos

Cuando intentamos representar la realidad, es decir los sistemas y su funcionamiento utilizamos lo que denominamos modelo. Diferentes autores han ido definiendo el modelo de formas muy diversas. A continuación exponemos algunas de estas definiciones:

- Estructuración física o conceptual de las relaciones espacio-temporales entre entidades físicas (G. Mihram).
- Representación del sistema en estudio que conduce a predecir la efectividad de posibles cambios del sistema (Churchman).
- Representación de un objeto, sistema o idea de alguna forma diferente del ente en sí.
- Sistema que puede servir como sustituto de otro.

En un sentido muy amplio, el modelo puede ser descrito como representación de la realidad sin la presencia de la propia realidad. Con este objeto, el modelo ha sido utilizado por el hombre a través del tiempo.

La pintura, el dibujo y más modernamente, la fotografía son representaciones a escala bidimensional de la realidad retratada.

Una grabación de sonido puede proporcionar con su sensación acústica el resultado de un modelo a escala tridimensional de una representación operística.

Las funciones que puede cumplir un modelo son las siguientes y se justifican a continuación:

- Comunicativa.
- Descriptiva.
- Explicativa.
- Predictoria.
- Decisoria.
- De diagnóstico.
- De control.
- De sistematización.
- De entrenamiento.

Las funciones comunicativa, descriptiva y explicativa nos permiten mostrar la propia realidad. Los modelos han sido tradicionalmente utilizados para expresar ideas o para describir objetos, desde las pinturas murales o esculturas, hasta los sistemas de ecuaciones que explican y descubren el funcionamiento de los sistemas. Los modelos pueden representar la realidad con la precisión adecuada a nuestras necesidades.

Una análisis detallado del modelo nos permite obtener funciones predictorias, decisorias, de diagnóstico y de control. Un sistema complejo está formado por muchos elementos y con relaciones generalmente complejas entre ellos, con aspectos diversos de comportamiento. Diferentes modelos, contemplando cada uno un aspecto distinto, permiten concentrar la atención sucesivamente en subconjuntos de elementos y relaciones, ayudando así al análisis de las partes, en principio, y posteriormente del conjunto. El esfuerzo de análisis que es preciso realizar para elaborar un modelo constituye un medio riguroso (sistemático), explícito y eficiente para enfocar el juicio y la intuición y dirigir el conocimiento. El progreso del conocimiento, en general, y la ciencia y la ingeniería en particular, queda reflejado con precisión en el progreso de la capacidad humana para desarrollar modelos de fenómenos naturales, ideas y objetos. Y es evidente que el modelo puede realizar funciones de entrenamiento.

Por ello los campos de aplicación de la modelación son amplísimos. De acuerdo con Hussey y Shannon podemos resumirlo de la forma siguiente:

- Para la experimentación: se utilizarán principalmente en los casos en que la experimentación directa sobre el objeto real es muy costosa o imposible, y en el desarrollo o diseño de un nuevo sistema, partiendo el modelo de un sistema anterior, en cuyo modelo pueden introducirse modificaciones más fácilmente que en propio sistema.
- Para la predicción: el modelo puede servir para predecir el comportamiento del sistema real frente a la variación de ciertos estímulos.
- Para la enseñanza y entrenamiento.

Clasificación de los modelos

Existe una gran variedad de formas de representar la realidad con un modelo. Para poder clasificarlos tendremos que intentar tener en cuenta todas estas diferentes formas, lo que ha originado varias clasificaciones, como vamos a ver a continuación.

Rosembueth y Wiener, en el año 1945, fueron los primeros en formalizar y generalizar el concepto del modelo y en establecer un esquema de clasificación, según el cual existían:

- Modelos formales (el modelo es un sistema de símbolos relacionados por algún tipo de conectores lógicos).
- Modelos materiales (el modelo es un objeto que representa de algún modo al objeto a estudiar, como la maqueta de un edificio o como el circuito eléctrico de un transmisor).

Otra forma de clasificar los modelos los divide en cinco grupos tal como sigue:

- 1.^a clasificación. Forma de representar al sistema:
 - Icónico.
 - Simbólico.
 - Analógico.
- 2.^a clasificación. Objeto del modelo:
 - Descriptivo.
 - Normativo.
- 3.^a clasificación. De acuerdo con el comportamiento:
 - Estático.
 - Dinámico.
- 4.^a clasificación. De acuerdo como se influye el sistema:
 - Determinista.
 - Probabilístico o estocástico.
- 5.^a clasificación. En función del tiempo:
 - Discreto.
 - Continuo.

En primer lugar, vemos que considerando la forma en que un modelo representa a la realidad o un sistema, puede ser icónico, analógico o simbólico:

- La propiedad común de los modelos icónico, es la reproducción de las características físicas de la entidad modelada. Es decir, un modelo icónico tiene la forma y apariencia de la realidad que se ha modelado.
- Los modelos analógicos, tienen como distintivo común la de reemplazar las propiedades físicas del sistema por un sustituto apropiado en el modelo.
- Las características que distinguen el modelo simbólico consisten en el reemplazo de las propiedades del sistema físico por símbolos y comprende a los modelos de simulación y matemáticos.

Un modelo puede ser clasificado de acuerdo con el objeto para el que se ha desarrollado. En este contexto un modelo puede ser descriptivo y normativo:

- Un modelo descriptivo es aquel que describe (valga la redundancia) el comportamiento de las propiedades del sistema modelado. La salida de un modelo descriptivo no intenta recomendar el curso de la acción a tomar, simplemente describe que sucede.
- Un modelo normativo es aquel en el que se intenta que se obtengan recomendaciones de las acciones que se deben seguir. Es muy frecuente que se obtenga un modelo normativo manipulando u operando un modelo descriptivo.

También puede ser clasificado un modelo de acuerdo que caracterice o no, el comportamiento del modelo con el tiempo:

- A un modelo que describa el comportamiento de un sistema durante un intervalo de tiempo, más o menos grande, se le denomina modelo dinámico.
- Un modelo que representa el comportamiento de un sistema en un momento determinado, será un modelo estático.

Veamos los siguientes ejemplos: consideremos un modelo de un sistema que calcule el costo medio de producción por unidad manufacturada:

- Si el modelo refleja la fluctuación del costo medio del producto manufacturado a través de diferentes períodos de producción sería un modelo dinámico.
- Si el modelo produjese solamente el valor medio de un período completo de producción entonces el modelo sería estático.

Podemos considerar una cuarta clasificación de los modelos, en función de que en estos se reconozca la presencia de variaciones aleatorias en el

sistema modelado. Muy pocos sistemas reales, si es que existe alguno, estarán libres de comportamiento no predecibles o aleatorios en los elementos del sistema o en su entorno:

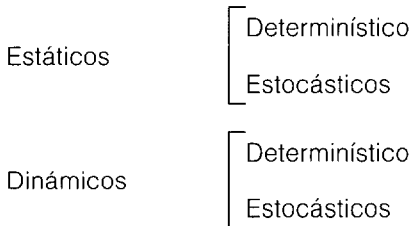
- Un modelo determinista es aquel que no reconoce la aleatoriedad en el comportamiento del sistema. Cuando en un sistema el comportamiento aleatorio de sus elementos es suficientemente reducido para el uso práctico para el que se diseña el modelo, puede ser completamente apropiado la utilización de un modelo determinista.
- Un modelo que explícitamente considere el comportamiento aleatorio de los elementos del sistema es llamado un modelo probabilístico o estocástico.

La quinta manera de clasificar los modelos considera la forma en que el modelo representa cambios en el sistema modelado:

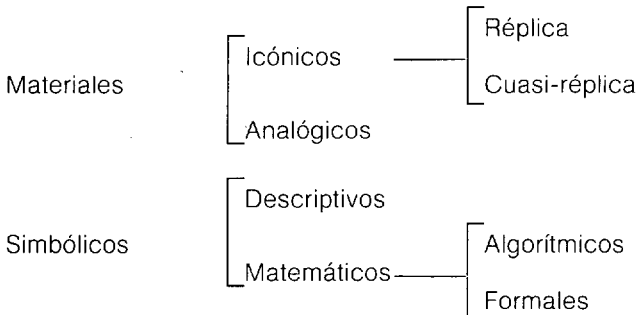
- Si el modelo describe cambios aislados en el *status* o la situación en tiempo del sistema modelado, el modelo se denomina discreto.
- Si el modelo considera que los fenómenos de cambios se producen de forma continua, entonces se denomina modelo continuo.

Cuadro 1.—*Clasificación de los modelos según Mihram (197 b).*

a) *Por su carácter de sistemas*



b) *Por su relación con el prototipo*



Por último, consideremos otra forma de clasificar los modelos, quizá las más completa, propuesta por Mihram, en el año 1972 y cuya explicación ya hemos efectuado anteriormente, sobre pequeñas variaciones que efectuamos a continuación y resumimos en los cuadros 1 y 2:

Cuadro 2.—*Clasificación y ejemplos de modelos. (Adaptado de Mihram, 1972 b.)*

	<i>Materiales</i>		
	<i>Réplicas</i>	<i>Cuasi réplicas</i>	<i>Analógicos</i>
<i>Estáticos</i>			
Determinísticos	Estatua del general Franco	Mapa de carreteras	Curvas de un transistor
Estocásticos	Ruleta reducida	Mapa meteorológico	Dado en vez de ruleta rusa
<i>Dinámicos</i>			
Determinísticos	Modelo de tren a escala	Modelo plano sistema solar	Circuito equivalente de un sistema mecánico.
Estocásticos	Experimentos genéricos de laboratorio	Filmación movimiento browniano	Generador de ruido blanco
<i>Simbólicos</i>			
	<i>Descriptivos</i>	<i>Algorítmicos</i>	<i>Formales</i>
<i>Estáticos</i>			
Determinísticos	Los diez mandamientos	Tablas de decisión	Ley de Ohm
Estocásticos	Informe meteorológico	Programa números aleatorios	Distribuciones de probabilidad
<i>Dinámicos</i>			
Determinísticos	Plan estudios E.T.S.I.T.M.	Receta de cocina	Ecuaciones de Maxwell
Estocásticos	Libro sobre evolución natural	Algoritmo simulación tráfico urbano	Ecuación de Schorödinger

Mayor generalidad

Mayor abstracción
 Mayor facilidad de inferencia
 Menor correspondencia con realidad

- Dependiendo de que sus características varíen o no con el tiempo; modelos dinámicos y estáticos.
- Si contienen, o no elementos o entradas aleatorias que afecten la salida o respuesta del modelo; estocástico y determinista.
- Según su relación con el sistema modelado, modelo icónicos (los que gráfica o visualmente reproducen estos aspectos del sistema; aquí podemos distinguir entre réplicas y cuasi réplicas; caracterizándose estos últimos por las ausencias de una o más dimensiones del sistema modelado), y modelo analógicos (los que sin tener un parecido directo con la realidad poseen unas propiedades esenciales que pueden ponerse en correspondencia directa con las del sistema modelado).
- Dependiendo de su forma simbólica de presentación o modelos simbólicos: modelos descriptivos (modelos que expresados en términos de un lenguaje natural, sólo pueden manipularse y transformarse por medio de reglas gramaticales aceptadas).
- Modelos matemáticos (eliminan la ambigüedad o redundancia). Los modelos formales son modelos matemáticos que recurren a símbolos manipulados por una disciplina matemática bien elaborada, tal como el cálculo integral, álgebra, análisis numéricas o lógicas matemáticas. También podemos considerar modelos matemáticos a los modelos que valiéndose de un lenguaje natural o artificial (por ejemplo, un lenguaje de programación), expresan sin ningún tipo de ambigüedad un conjunto o sucesión de operaciones bien definidas que determinan el comportamiento del sistema; estos son los modelos algorítmicos, utilizados, sobre todo, para simulación.

Simulación

De acuerdo con el diccionario de la Academia «simular es representar una cosa, fingiendo o imitando lo que no es».

O sea que en el fondo todo modelo es una forma de simulación, pero la simulación tiene interés desde el punto de poder analizar la actividad de un modelo o en el estudio de su comportamiento. Por ello se considera como un simulador a un modelo específico cuyo fin es poder observar, como hemos dicho, los aspectos dinámicos del modelo y como hemos visto para los modelos, existen varias definiciones para la palabra «simulación».

La simulación es el empleo de un modelo de sistema real con el propósito de acumular experiencias sobre el sistema a efectos de entretamiento, toma de decisiones o control de éste.

De acuerdo con Gordan «simulación de sistemas es la técnica de resolución de problemas siguiendo en el tiempo los cambios de un modelo dinámico del sistema».

Para Shannon la simulación incluye tanto la modelación como el uso del modelo para estudiar el original; «simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con este modelo con el propósito de comprender el funcionamiento del sistema o evaluar diferentes estrategias para la operación del sistema».

El estudio de un sistema no requiere, como hemos visto anteriormente, el uso de la simulación. Las condiciones adecuadas para utilizar un modelo de simulación fueron definidas por Shannon en el año 1975:

- a) No existe una formulación matemática del problema.
- b) Existe un modelo matemático, pero no métodos analíticos de resolución del mismo.
- c) Existen el modelo y los métodos, pero los procedimientos son tan arduos y laboriosos que resulta más sencilla y menos costosa la simulación.
- d) Se desea observar en el tiempo una historia simulada del sistema. Por ejemplo, avión a escala en túnel aerodinámico.
- f) Es imposible experimentar sobre el sistema. Por ejemplo, sistema solar.
- g) Puede experimentarse sobre el sistema, pero motivos éticos lo impiden. Por ejemplo, sistemas biológicos humanos.
- h) Se quiere observar un sistema de evolución muy lenta, reduciendo la escala del tiempo. Por ejemplo, análisis de sistemas ecológicos.

El uso de la simulación presenta algunos inconvenientes que es preciso tener siempre en cuenta para evitar el riesgo de conclusiones equivocadas:

- El desarrollo de un modelo de un sistema complejo es caro y requiere mucho tiempo. Por ejemplo, según Forrester (1961), un sistema socioeconómico puede requerir de tres a diez años de trabajo de un equipo interdisciplinario.

Simplificando, podemos decir que la simulación tiene las siguientes ventajas:

- 1) Reduce el coste de equipos e instalaciones.
- 2) Reduce el coste de riesgo de personas y bienes.
- 3) Incrementa la protección del medio ambiente:
 - Reduciendo cierto tipo de experimentos.
 - Análisis en supuestos de experimentos difíciles de realizar y observación de los fenómenos en el ambiente real.

- 4) Incrementa la eficacia del entrenamiento por:
 - Intensificación.
 - Independencia de las condiciones reales ambientales.
 - Reducción del tiempo de aprendizaje.
- 5) Y existen las evidentes razones pedagógicas:
 - Ajuste de la velocidad de ejecución.
 - Repetición total o parcial.
 - Análisis.