

tos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del sistema. En consecuencia, entendemos que el proceso de simulación incluye tanto la construcción del modelo como su uso analítico para estudiar un problema. Por modelo de un sistema real entendemos una representación de un conjunto de objetos o ideas de forma tal que sea diferente a la de la entidad misma, y en este caso el término "real" se usa en el sentido de "en existencia o capaz de ser puesto en existencia". Por lo tanto, los sistemas en estado preliminar o de planeación pueden modelarse de igual manera que aquellos que ya existen.

Muchos autores usan el término "simulación" en un sentido mucho más restringido que el ya mencionado. De acuerdo con nuestra definición, la simulación puede o no implicar un modelo estocástico y una experimentación de tipo Monte Carlo. Dicho de otra manera, las entradas al modelo y/o las relaciones funcionales entre sus diversos componentes pueden o no implicar un elemento aleatorio sujeto a las reglas de probabilidad. Además, no restringimos nuestra definición de simulación a los experimentos realizados sobre modelos de computadoras electrónicas. Muchas simulaciones útiles pueden realizarse y se realizan con sólo lápiz y papel o con la ayuda de una calculadora manual. El modelado de la simulación es, por tanto, una metodología aplicada y experimental que intenta:

- a) Describir el comportamiento de sistemas.
- b) Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado.
- c) Usar estas teorías para predecir un comportamiento futuro, es decir, los efectos que se producirán mediante cambios en el sistema o en su método de operación.

A diferencia de la mayoría de las tecnologías, las cuales pueden clasificarse de acuerdo con la disciplina (por ejemplo, física o química) de la que se originan, la simulación es aplicable a todas las disciplinas. La simulación como la conocemos recibió su impulso original de los programas aeroespaciales, pero incluso un examen superficial de la literatura sobre este tema indica el amplio campo de sus aplicaciones actuales. Por ejemplo, existen libros acerca del uso de la simulación en administración,^(12, 22, 25) economía,^(24, 26) mercadeo,^(2, 21) educación,⁽³⁾ política,⁽⁷⁾ ciencias sociales,^(8, 13) ciencias del comportamiento,^(17, 30) relaciones internacionales,^(14, 15) transporte,⁽¹⁸⁾ mano de obra, cumplimiento de la ley, estudios urbanos, sistemas globales e innumerables áreas. Además, gran cantidad de artículos técnicos, ensayos, informes y tesis de maestría y doctorado en casi todos los campos de actividad social seria, de tipo

económico, técnico y humanístico, testimonian el gran impacto y desarrollo que ejerce el uso de la simulación en casi todos los aspectos de la vida.

1.2. EJEMPLO DE SIMULACIÓN



Antes de continuar, quizás deberíamos comentar un ejemplo muy simple para demostrar el concepto de simulación. Consideremos un sistema de formación de colas de un solo canal (línea de espera) tal como el de una caja registradora en una pequeña tienda de regalos. Supongamos que el tiempo entre la llegada de los clientes está uniformemente distribuido de 1 a 10 minutos (por simplicidad redondearemos todos los tiempos al minuto total más cercano). Además, supongamos que el tiempo requerido para atender a cada cliente está también uniformemente distribuido de 1 a 6 minutos. Estamos interesados en el tiempo promedio que un cliente permanece dentro del sistema (el tiempo que transcurre cuando está esperando y mientras se le atiende) y el porcentaje de tiempo que el cajero está desocupado.

Para simular el sistema, necesitamos generar una experiencia artificial que fuera característica de la situación. Para hacerlo, debemos diseñar un método para generar la llegada artificial de una fila de clientes y el tiempo de servicio requerido para cada uno de ellos. En uno de los métodos que podríamos usar, comenzaríamos por pedir prestadas diez fichas para póker y un dado a uno de nuestros compañeros de juego. Entonces, numeraríamos las fichas para póker del uno al diez, las colocaríamos en un sombrero y las revolveríamos. Al sacar del sombrero una ficha de póker y leer su número, podríamos entonces representar el tiempo entre la llegada del cliente que en ese momento se atiende y la del último cliente. El tirar nuestro dado y leer el número de puntos en la cara superior representaría cuánto tiempo tomaría atenderlo. Por tanto, si repetimos esta secuencia (reemplazando la ficha de póker y agitando el sombrero antes de tomar otra), podríamos generar una serie de llegadas y de tiempos de servicio correspondientes. Por lo tanto, nuestro problema se vuelve un problema contable. En la tabla 1.1, se muestra cómo se vería un ejemplo de 20 clientes.

Obviamente, para obtener significación estadística tendríamos que usar un tamaño de muestra mucho más grande, y hemos ignorado varios aspectos importantes, tales como las condiciones de inicio, las cuales se tratarán más adelante. El punto importante es que hemos usado dos dispositivos para generar números aleatorios (fichas de póker numeradas y un dado) a fin de producir un experimento artificial (simulado) con un sistema con objeto de examinar algunas de sus características de comportamiento.

Tabla 1.1. Simulación de una caja registradora.

Cliente	Tiempo desde la última llegada (min)	Tiempo de servicio	Tiempo medido de las llegadas	Iniciación del servicio	Terminación del servicio	Espera del cliente (min)	Cajero inactivo (min)
1	—	1	0:00	0:00	0:01	1	0
2	3	4	0:03	0:03	0:07	4	2
3	7	4	0:10	0:10	0:14	4	3
4	3	2	0:13	0:14	0:16	3	0
5	9	1	0:22	0:22	0:23	1	6
6	10	5	0:32	0:32	0:37	5	9
7	6	4	0:38	0:38	0:42	4	1
8	8	6	0:46	0:46	0:52	6	4
9	8	1	0:54	0:54	0:55	1	2
10	8	3	1:02	1:02	1:05	3	7
11	7	5	1:09	1:09	1:14	5	4
12	3	5	1:12	1:14	1:19	7	0
13	8	3	1:20	1:20	1:23	3	1
14	4	6	1:24	1:24	1:30	6	1
15	4	1	1:28	1:30	1:31	3	0
16	7	1	1:35	1:35	1:36	1	4
17	1	6	1:36	1:36	1:42	6	0
18	6	1	1:42	1:42	1:43	1	0
19	7	2	1:49	1:49	1:51	2	6
20	6	2	1:55	1:55	1:57	2	4
TOTALES						68	55

$$\text{Tiempo de espera promedio del cliente} = \frac{68}{20} = 3.40 \text{ min}$$

$$\text{Porcentaje del tiempo de inactividad del cajero} = \frac{55}{117} (100) = 47\%$$

1.3. DEFINICIÓN DE "MODELO"

Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea, de forma diferente a la de la identidad misma. Usualmente, su propósito es ayudarnos a explicar, entender o mejorar un sistema. Un modelo de un objeto puede ser una réplica exacta de éste (aunque en un material diferente y a escala diferente), o puede ser una abstracción de las propiedades dominantes del objeto. Debido a que la simulación es solamen-

te un tipo de modelación, aunque muy importante, prepararemos el escenario para un comentario sobre modelación de simulación considerando primero la modelación en términos generales.

Se considera que las funciones de un modelo son la predicción y la comparación para proporcionar una manera lógica de predecir los resultados que siguen las acciones alternativas, e indicar una preferencia entre ellas. Aunque este uso de los modelos es importante, éste no es de ninguna manera su único propósito. Como veremos en las siguientes secciones, la construcción de modelos proporciona una manera sistemática, explícita y eficiente para que un grupo de expertos y aquellos que toman las decisiones centren su juicio e intuición. Al introducir una estructura precisa, un modelo también puede servir como un efectivo medio de comunicación, así como una ayuda para el pensamiento.

Mucha gente piensa que el uso de modelos es algo reciente; sin embargo, la modelación no es nueva; la conceptualización y el desarrollo de modelos han tenido un papel muy importante en la actividad intelectual de la humanidad, desde que el hombre empezó a tratar de entender y manipular su medio. Este siempre ha usado la idea de los modelos para tratar de representar y expresar ideas y objetos. El modelado incluye desde formas de comunicación, tales como pinturas murales y la fabricación de ídolos, hasta la escritura de complejos sistemas de ecuaciones matemáticas para el vuelo de un cohete en el espacio. De hecho, el progreso y la historia de la ciencia y la ingeniería se reflejan con mayor precisión en el progreso de la habilidad del hombre para desarrollar modelos de fenómenos naturales, ideas y objetos.

Casi sin excepción, los escritores de ciencia afirman que uno de los principales elementos para resolver un problema es la construcción y el uso de un modelo. Dicho modelo puede tomar muchas formas, pero una de las más útiles, y ciertamente la que más se usa, es la matemática, la cual expresa por medio de un conjunto de ecuaciones las características esenciales del sistema o los fenómenos en estudio. Lamentablemente, no siempre es posible crear un modelo matemático en un sentido riguroso y estricto. Al estudiar la mayoría de los sistemas militares e industriales, podemos definir objetivos, especificar restricciones y discernir que el diseño sigue las leyes de ingeniería y/o economía. Las relaciones esenciales se pueden descubrir y representar matemáticamente, de una manera u otra. Contrario a esto, abordar problemas como contaminación ambiental, prevención de delitos, remodelación urbana o atención médica, implica trabajar con objetivos vagos e incompatibles, así como con alternativas determinadas por factores políticos y sociales. Por tanto, nuestra definición debe incluir y permitir modelos cualitativos y cuantitativos.