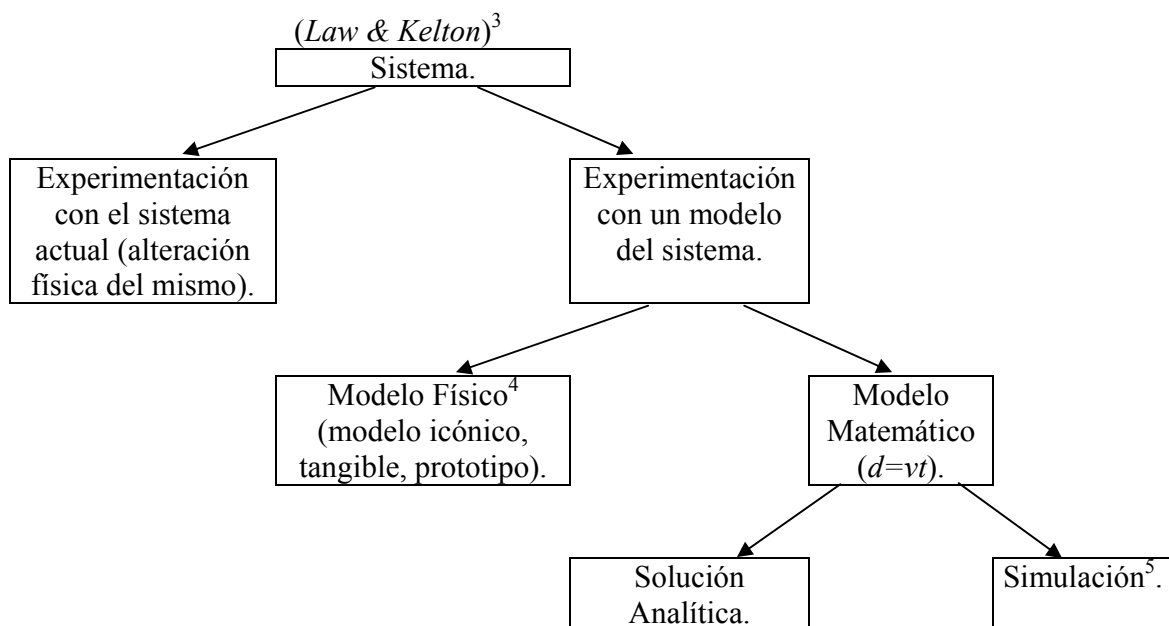


- Simulación.** 1) “Acción de *simular*. **Simular:** Representación de algo, fingiendo o imitando lo que no es”¹.
- 2) **Imitar** el desempeño de un sistema en un **medio controlado** con el fin de **estimar** cual sería el desempeño real.
- 3) “Técnica de **muestreo estadístico controlada** para **estimar** el desempeño de sistemas estocásticos complejos cuando los modelos analíticos no son suficientes”².

Maneras de estudiar un sistema.



Cuando se tiene, por ejemplo, una situación de líneas de esperas (colas) considerada difícil de representar a través de un modelo matemático se apela a la simulación.

Las líneas de espera pueden ser representadas a través de un modelo de **simulación dinámica a eventos discretos** (se explicará con más detalle posteriormente). Se trata del modelaje de un sistema que se desarrolla (evoluciona) en el tiempo mediante una representación en la cual las variables de estado (variables que describen el sistema) cambian instantáneamente en puntos separados del tiempo (discreto). En tales puntos ocurren los **eventos**⁶.

¹ Diccionario de la Lengua Española. Real Academia Española (XIX edición). 1970.

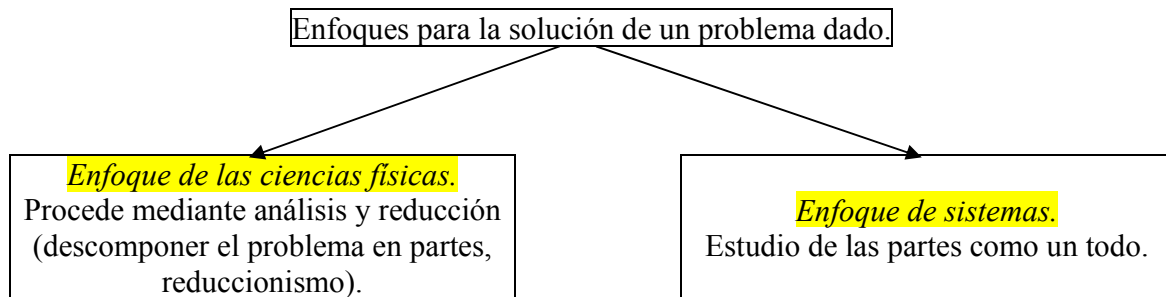
² F. S. Hillier, G. J. Lieberman, “Introducción a la investigación de Operaciones”, McGraw-Hill, 1996.

³ A. M. Law, W. Kelton, “Simulation Modeling and Analysis”, New York: McGraw-Hill, 1991.

⁴ Puede no existir, por ejemplo, sistemas de manufactura o armas nucleares.

⁵ Casos de alta complejidad de algunos modelos. Ejercitación numérica del modelo.

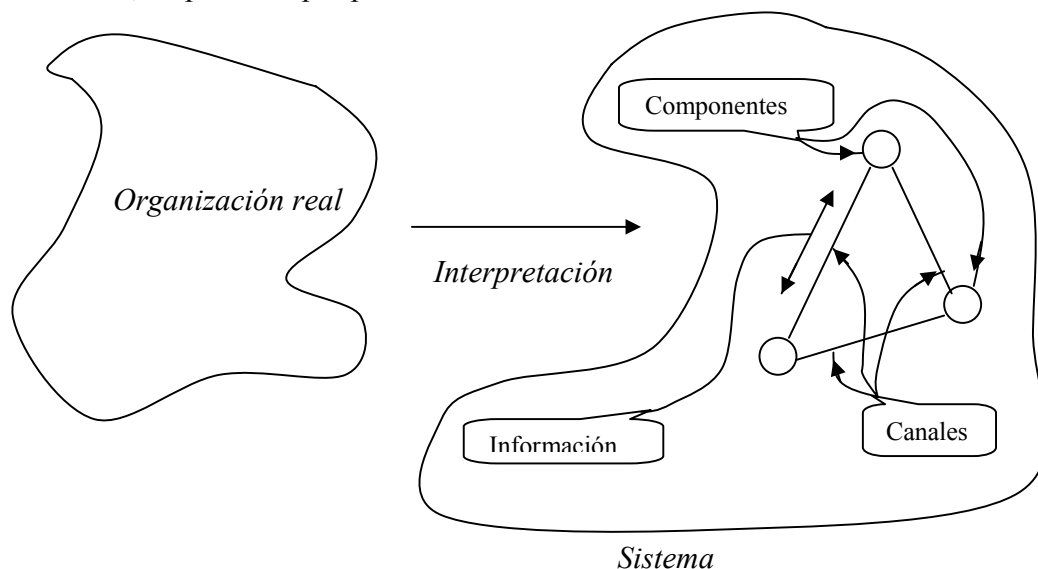
⁶ Se define un “evento” como una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado del sistema.



Los sistemas se pueden clasificar de muchas maneras. Podrían ser clasificados de manera simple de acuerdo a la *naturaleza de sus cantidades* en:

- 1) Físicos: Aquellos cuyas *cantidades* son susceptibles de ser medidas, por ejemplo, un sistema de abastecimiento de agua de una vivienda.
- 2) Abstractos: El resto de los sistemas que no obedecen a la definición anterior, por ejemplo, un conjunto de pensamientos que definen la solución de un problema.

Sin embargo, podemos realizar una clasificación más fina. Antes de realizar tal clasificación, empecemos por precisar ciertas ideas.



“Una *organización* se puede interpretar como un *sistema*. Todo sistema tiene *componentes* e *interacciones* entre sí. Algunas interacciones son *controlables*, mientras que otras *no lo son*. Todo sistema es una *estructura que funciona*⁷. La *información* es el elemento que convierte a una estructura en un sistema.”⁸

⁷ “Por ejemplo, un hombre vivo es un sistema, mientras que ese mismo hombre, pero muerto, no es un sistema, sino simplemente una estructura.”

⁸ J. Prawda W., “Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones”, Vol. 1: Modelos Determinísticos, Editorial Limusa, S. A., 1990.

“En los procesos de simulación de cualquier sistema se deben definir los siguientes parámetros: **Componente** (cualquier parte importante del sistema, un sistema puede tener varios componentes), **atributo** (se refiere a las propiedades de cualquier componente del sistema, un componente puede tener varios atributos), **actividad** (cualquier proceso que causa cambios en el sistema) y **estado del sistema** (descripción de los componentes, sus atributos y actividades de un sistema, en un determinado periodo de tiempo). El concepto “estado de un sistema”, también puede ser definido como “el conjunto de variables (variables de estado) necesarias para describir la condición de un sistema en un momento determinado”⁹. Como ejemplo de lo anterior considere un sistema de tráfico.

Sistema	Componentes	Atributos	Actividades
Tráfico	Automóviles	Velocidad	Manejar
		Capacidad	
	Reglamentos	Claridad	Normar
		Utilidad	

Todo sistema se encuentra ubicado o enmarcado dentro de un *macrosistema*, *marco ambiental*, *marco referencial* o *medio amniótico*. La extensión de la frontera del marco ambiental, depende del sistema bajo estudio.

Existen actividades que afectan el sistema bajo estudio y que se originan en un marco ambiental. Tales actividades se conocen como *actividades exógenas*. Aquellas que se originan dentro del sistema bajo consideración se llaman *actividades endógenas*. Un sistema sin actividades exógenas se llama *sistema cerrado*, mientras que uno que cuenta con ellas se llama *sistema abierto*.

En un sistema de líneas de espera, la llegada de los clientes es una variable exógena, mientras que el tiempo de servicio es una variable endógena. El número de servidores es uno de los muchos componentes del sistema. Su disposición física (en paralelo o en serie) y la política de servicio, son algunos de los atributos del componente llamado servidor.

Los modelos analíticos o numéricos requieren la simplificación del sistema real bajo estudio, a fin de que se apegue a las condiciones que fundamentan la teoría del modelo en uso (finalmente se resuelve un sistema deformado). Los procesos de simulación no producen resultados óptimos, sino simplemente buenos (debido al error estadístico).¹⁰

Clasificación. (Law & Kelton)

Si disponemos de un modelo matemático para ser estudiado a través de la simulación, clasifiquemos los modelos de simulación, equivalentemente los sistemas sujeto de estudio, a lo largo de tres dimensiones:

⁹ W. L. Winston, “Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos”, Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.

¹⁰ J. Prawda W., “Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones”, Vol. 2: Modelos Estocásticos, Editorial Limusa, S. A., 1991.

1) Modelos estáticos y dinámicos.

Estático. Representación de un sistema en un tiempo particular o aquel usado para representar un sistema en el cual el tiempo no juega ningún papel.

Ejemplo:

Modelos de Monte Carlo. En general, "cualquier simulación" que utiliza números aleatorios.

Dinámico. Representación de un sistema que evoluciona en el tiempo.

Ejemplo:

Sistema transportador en una fábrica.

2) Modelos determinísticos y estocásticos.

Determinísticos. Cuando el modelo no contiene elementos probabilísticos. La salida queda "determinada" una vez que el conjunto de entradas y de relaciones en el modelo quedan especificadas.

Ejemplo:

Un sistema de ecuaciones diferenciales que describen una reacción química.

Estocásticos. Aquellos que son modelados teniendo al menos alguna entrada aleatoria.

Ejemplo:

Sistemas de líneas de espera (colas).

Sistemas de inventario.

Los modelos de simulación estocásticos producen salidas que son en sí mismas aleatorias y deben ser tratados en consecuencia solamente como un estimado de las verdaderas características del modelo. Esta es una de las principales desventajas de la simulación.

3) Modelos discretos y continuos.

Discretos. Las variables de estado cambian instantáneamente solo en puntos discretos contables en el tiempo.

Ejemplo:

El sistema de cola en una agencia bancaria.

Continuos. Las variables de estado cambian continuamente respecto al tiempo.

Ejemplo:

Proceso químico.

Vuelo de un avión (posición y velocidad).

Típicamente, los modelos de simulación continuos envuelven el uso de ecuaciones diferenciales que ofrecen relaciones para las tasas de cambio de las variables de estado con el tiempo. Si tales ecuaciones son particularmente simples, se pueden resolver

analíticamente, para obtener los valores de las variables de estado para todo t (tiempo) como función de las variables de estado en $t = 0$. Para muchos modelos continuos las soluciones analíticas no son posibles. En consecuencia, se suelen aplicar técnicas de análisis numérico (Runge-Kutta, elementos finitos, etc.) para integrar ecuaciones diferenciales numéricamente, dando valores específicos para las variables de estado en $t = 0$.

Observaciones:

- 1: Algunos sistemas no son completamente discretos ni completamente continuos (*Simulación combinada discreto-continua*).

Ejemplo:¹¹

Tanqueros petroleros que llegan a una dársena (parte resguardada artificialmente en aguas navegables para carga y descarga).

La llegada de los tanqueros para descarga constituye un evento discreto. Sin embargo, los niveles de crudo en el tanquero y en el tanque de almacenamiento vienen dados por variables de estado continuas cuyas tasas de cambio están descritas por ecuaciones diferenciales.

- 2: Un modelo discreto no siempre es utilizado para modelar un sistema discreto y viceversa. La decisión de utilizar un modelo discreto o continuo para un sistema en particular depende de los objetivos específicos del estudio.

Ejemplo:

Un modelo de flujo de tráfico puede ser discreto si las características y el movimiento individual de los vehículos son importantes. Alternativamente, si los vehículos son tratados "en conjunto", el flujo de tráfico puede ser descrito por ecuaciones diferenciales en un modelo continuo.

Los modelos de simulación a considerar serán aquellos **discretos**, **dinámicos** y **estocásticos**, que se suelen denominar, *Modelos de Simulación a Eventos Discretos* o simplemente se habla de *Simulación mediante Eventos Discretos*.

¹¹ A. A. B. Pritsker, "Introduction to Simulation and SLAM II", 3d.ed., Systems Publishing Corp., West Lafayette, Ind. 1986.