

Modelado y

# Simulación

Modaldo Tuñón

---

## Capítulo 1

---

# Introducción a la Simulación de Sistemas

## Capítulo 1

### Introducción a la Simulación de Sistemas

Los objetivos de este capítulo son los siguientes:

- Presentar los conceptos más importantes de la teoría de sistemas y simulación.
- Identificar y especificar las clases de sistemas, sus características y comportamiento.
- Estandarizar la definición de simulación utilizada en este trabajo.
- Determinar los usos, campos de aplicación, ventajas y desventajas de la simulación, sus diferentes tipos y técnicas para poder entender mejor su aplicación en el estudio de los sistemas reales.

Antes de presentar el concepto de simulación, es importante que se presenten algunos conceptos fundamentales sobre los sistemas en sí.

#### 1.1 El Concepto de Sistema

En este capítulo pretendemos relacionar al lector con la terminología básica necesaria para el estudio de la simulación de sistemas. Es posible que algunos términos le sean familiares. Por eso, al referirnos a ellos, debemos establecer un criterio común. Trataremos en primer lugar el término **sistema** y explicaremos sus características y clasificaciones, porque es el concepto principal del campo de la simulación de sistemas.

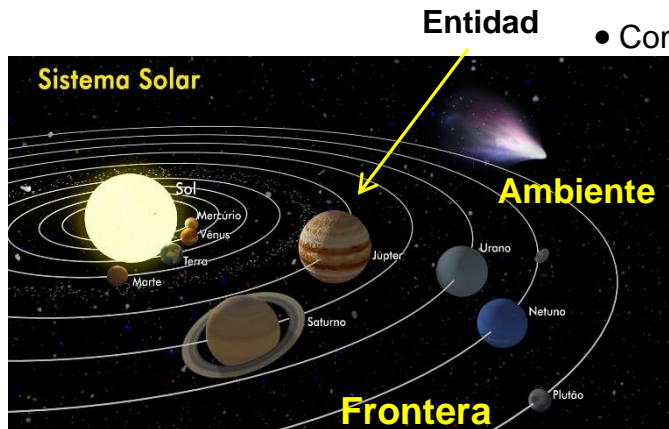
Estamos acostumbrados a escuchar este término (sistema) desde que iniciamos nuestros estudios más elementales. Por ejemplo, se habla de sistemas económicos, sociales, naturales, de transporte, sistema nervioso, sistema digestivo, etc.

**Entendemos por un sistema “un conjunto o conglomerado de entidades (caracterizadas por una serie de atributos) relacionadas y debidamente estructuradas por alguna interacción o interdependencia regular, que operan mancomunadamente mediante una red de comunicación y que tienen el propósito de lograr algún(os) objetivo(s)”.**

A continuación, se aclaran algunas palabras claves que aparecen en esta definición:

- Entidades: Objetos, cosas, elementos, componentes, partes que se diferencian claramente unos de otros.
- Objetivos: Metas, fines, logros, propósitos.
- Interactúan: Interdependencia, intercambio.

**También puede considerarse que un sistema es cualquier objeto cuyas propiedades se desean estudiar. De acuerdo con esta definición, cualquier fuente potencial de datos puede considerarse que es un sistema.**



**Figura 1.1: Sistema Solar**

- Comunicación: Estructura, red, canales, enlace.

Los sistemas pueden ser físicos o abstractos. Un sistema físico es un conjunto de elementos materiales que opera en relación con otros para alcanzar una meta común, por ejemplo, el sistema solar (ver Figura 1.1). Un sistema abstracto, solo es un producto de la mente humana. Esto es, que no se puede ver o señalar como una actividad existente. Los sistemas económicos, sociales y culturales son abstractos. Esto quiere

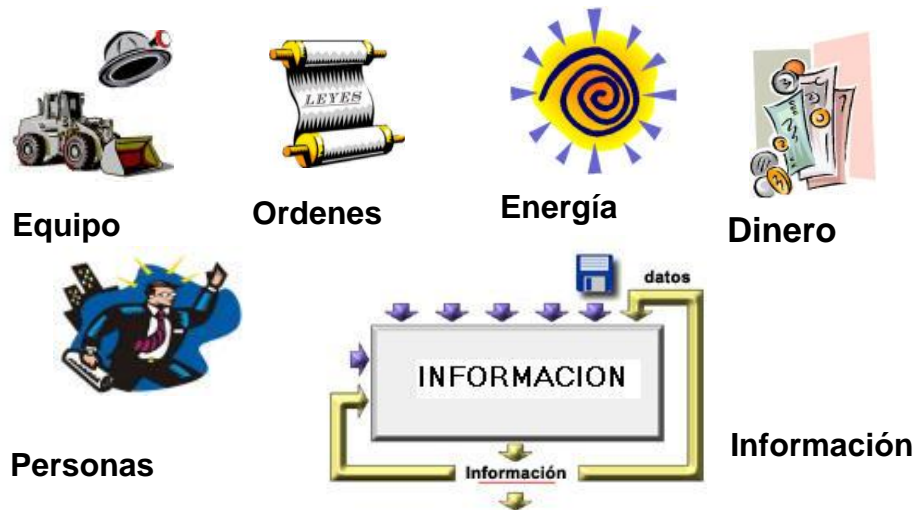
decir que ninguna de sus entidades puede ser fotografiada ni dibujada, pero si se pueden representar gráficamente. Sin embargo, de hecho, existen y pueden ser discutidas, estudiadas y analizadas.

### Concepto de Entidad

Las entidades (llamadas objetos) son las partes que ejecutan alguna función o proceso. Las relaciones entre las entidades y la forma en la cual ellas interactúan determinan el comportamiento total del sistema y cómo realizan o alcanzan su(s) propósito(s).

Las entidades pueden ser de uno de los siguientes tipos:

- Personas (individuos, seres humanos; también flora y fauna).
- Material (materia, energía).
- Informa (dato, conocimiento).
- Dinero.
- Equipo capital (bien mueble/inmueble, equipo, activo fijo, recursos).
- Ordenes (leyes, políticas, normas, procedimientos).



Un axioma muy importante que se aplica en la teoría de sistemas dice:

**"Todo sistema puede tener como máximo los seis componentes arriba presentados y como mínimo uno de ellos. Cuando se tiene más de uno, uno de ellos tiene que ser información. Cuando se tiene sólo uno, entonces ese es información".**

## 1.2 Componentes de los Sistemas

Las características de un sistema son importantes porque nos permiten realizar descripciones adecuadas a la hora de realizar un estudio. El visualizar claramente las características nos permitirá diseñar modelos de manera correcta y con menor tendencia a cometer errores, los cuales nos obligan en algunos casos a iniciar todo el estudio de nuevo. Estas características son las siguientes:

### 1.2.1 Entidad

Tal como se mencionó anteriormente, son *objetos únicos* que ejecutan alguna función o proceso, además de ser los elementos de interés en el estudio. Su número puede ser grande y de naturaleza diversa. Las entidades pueden ser tangibles (físicas) o intangibles (abstractas). Se usa el término entidad para denotar un objeto o componente de interés en un sistema, por ejemplo, un cliente, un servidor, una máquina. Otro ejemplo sería el de un automóvil y el conductor que lo maneja forman un sistema (ver Figura 1.2) y ambos son

entidades físicas, mientras que, en los sistemas de inventarios, costos, utilidades, etc., existen muchas entidades intangibles.



**Figura 1.2 Automóvil-Conductor**

Todo sistema provee algún tipo de servicio y por eso tiene tres tipos de entidades:

- Servidores: Proveen el servicio.
- Clientes: Reciben el servicio.
- Auxiliares: Ayudan a proveer el servicio.

### 1.2.2 Atributo

Los atributos son aquellas manifestaciones apreciables, con propiedades a través de las cuales describimos a las entidades. Pueden existir varios atributos para una entidad. Por ejemplo, la entidad **automóvil** tiene atributos de marca, modelo, año, y costo entre otros, mientras que la entidad **conductor** tiene los atributos de tipo de licencia, edad, ingreso, sexo, etc. Adicionalmente, un atributo puede ser una característica que contempla más de una entidad. Por ejemplo, el atributo tamaño puede ser asociado tanto con **automóvil** como con **conductor**. Otros ejemplos que se pueden agregar son el atributo de la creación de una mesa pueden ser las medidas, color. Por ejemplo, el de aprobar un examen, su atributo sería el puntaje. Otros serían los de realizar un corto (spot) comercial y el atributo sería redactar el guion para el corto.

### 1.2.3 Relaciones

Son los enlaces o vínculos entre las entidades que componen el sistema. De no ser por las relaciones el concepto de sistemas no tendría significado. Esto se debe a que el estudio de los sistemas se enfoca básicamente en las relaciones necesarias para explicar y describir el modo en que cambian. En el ejemplo anterior el costo del automóvil se relaciona con su tipo, el cual a su vez puede relacionarse con el ingreso del conductor.

Otro ejemplo: Supongamos que es necesario hacer constar la fecha de emisión de una factura a un cliente y que es posible emitir duplicados de la factura (con distinta fecha). En tal caso, el atributo "Fecha de emisión" de la factura debería colocarse en la relación "se emite".

#### 1.2.4 Actividades o Procesos

Llamaremos actividades a todo proceso que cause cambios en el sistema. Con la expresión estado del sistema se indica una colección de variables que contienen toda la información para la descripción de todas las entidades, atributos y actividades de acuerdo con su existencia en algún punto del tiempo. Estas variables de estado determinan la efectividad del sistema.

Las actividades que ocurran dentro del sistema se les llaman actividades endógenas<sup>1</sup> y a las que ocurren fuera de él y lo afectan las llamaremos actividades exógenas<sup>2</sup>. Por ejemplo, conducir el automóvil realizando operaciones como el encendido, manipulación del timón, pedales de freno y acelerador se pueden considerar actividades endógenas. El cambio de luces del semáforo, el cruce de calle de un peatón y un accidente serían actividades exógenas. Las actividades conforman la *funcionalidad* del sistema.

#### 1.2.5 Ambiente

El ambiente es el *conjunto de sistemas externos* que interactúan con el sistema de tal forma que los cambios que se producen en estos sistemas afectan el comportamiento del mismo. La separación o división entre el sistema y su ambiente es conocida como *frontera*. La frontera establece los límites del sistema e identifica cuáles son los factores de interés dentro del conjunto de elementos que lo componen.

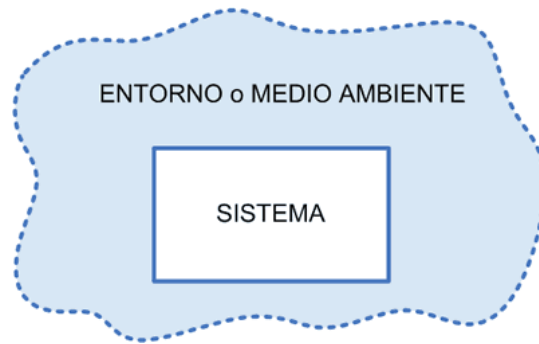
Las características particulares de una frontera varían en función de que el sistema sea físico o abstracto. En un sistema físico el límite es de demarcación natural determinada por la estructura básica del sistema, por los objetivos y logros del mismo. Por otra parte, en los sistemas abstractos, los límites son definidos típicamente por un observador. La línea divisoria puede variar de un observador a otro, a menos que todos estén de acuerdo con los criterios de selección. Además, podemos dividir a un sistema en subsistemas, o, dicho de otra forma, todo sistema es subsistema de aquel que es inmediatamente mayor a él. Si el ambiente es modificado puede producir un cambio en el estado del sistema.

En el ejemplo que hemos venido mencionando donde el automóvil y el conductor son el sistema, lo que los rodea constituye su ambiente. Esto es, las calles, peatones, semáforos, avenidas, otros automóviles, etc.

---

<sup>1</sup> internas

<sup>2</sup> externas



**Figura 1.3 Sistema y Ambiente**

### 1.2.6 Estado<sup>3</sup>

Es la descripción de las condiciones que prevalecen en *un momento dado* en los diferentes componentes de un sistema. Al analizar la diferencia de un estado a otro, producidos por los cambios que ocurren en el sistema, logramos comprender su desarrollo. Por ejemplo, un estado del sistema automóvil-conductor es "conduciendo"; otro estado puede ser "esperando luz verde en un semáforo".

### 1.2.7 Cambios

Los cambios son los pasos de un estado hacia otro estado y pueden ser de tres clases:

- **Reactivos:**



Una reacción es un evento causado determinísticamente por otro evento. Por ejemplo, cuando nosotros encendemos el interruptor de la luz (evento 1), el sistema reacciona encendiendo la luz (evento 2). Una causa directa provoca una acción o evento determinístico. Otro ejemplo es el de un conductor que al aplicar los frenos detiene el movimiento del coche. Este caso se conoce también como causa-efecto.

- **De respuesta:**



Es cuando un evento puede crear una causa, la cual no es suficiente para provocar un efecto. Por ejemplo, cuando oscurece usualmente encendemos la luz. Lo hacemos como respuesta a la oscuridad, pero esta oscuridad no es un evento suficiente para provocar que la luz se encienda. En el ejemplo conductor-automóvil, el cambio de la luz roja a verde en una determinada

<sup>3</sup> Escenario



intersección provoca la necesidad de que el conductor ponga en marcha el vehículo.

- **Autónomos:** Son eventos determinados por sí mismos, los cuales no necesitan un evento predecesor. Ejemplo, el comportamiento humano es de esta naturaleza. El conductor puede decidir aplicar el acelerador más allá de los límites permitidos solamente porque así lo desea. Hasta cierto punto podemos decir que un terremoto o huracán son autónomos.

### 1.2.8 Unidad de Tiempo

Se utiliza como medida del funcionamiento del sistema y se aplica globalmente y a través de toda la ejecución del sistema. Puesto de otra forma, el sistema se analiza y el modelo se diseña utilizando siempre la misma unidad de tiempo para todas las entidades, atributos, procesos, estados, cambios, etc. La unidad que se establece depende del problema y normalmente puede ser el segundo, el minuto, la hora, etc.

Establecer una unidad de tiempo correcta es una de las tareas más importantes que se debe realizar al analizar un sistema. Todas las variables que compongan el sistema utilizarán la unidad de tiempo establecida.

### 1.2.9 Frontera

Todo sistema posee una frontera que lo delimita de otros sistemas. Todo lo que queda fuera del sistema se le conoce como medio ambiente. A veces es bien fácil trazar la frontera, otras veces es un asunto muy complicado. El diseñador debe establecer la frontera en base a las características del sistema.

Hay sistemas que dependen fuertemente de su medio ambiente. Por ejemplo, el sistema humano sin aire y comunicación con otros seres humanos fenece. Por otro lado, hay sistemas que no requieren comunicar con el medio ambiente; por ejemplo, un reloj que da la hora por medios propios y no requiere del medio ambiente para determinar la hora.

## 1.3 Eventos

Un evento es un hecho que ocurre instantáneamente y que cambia el estado del sistema, como por ejemplo la llegada de un nuevo cliente a un banco.

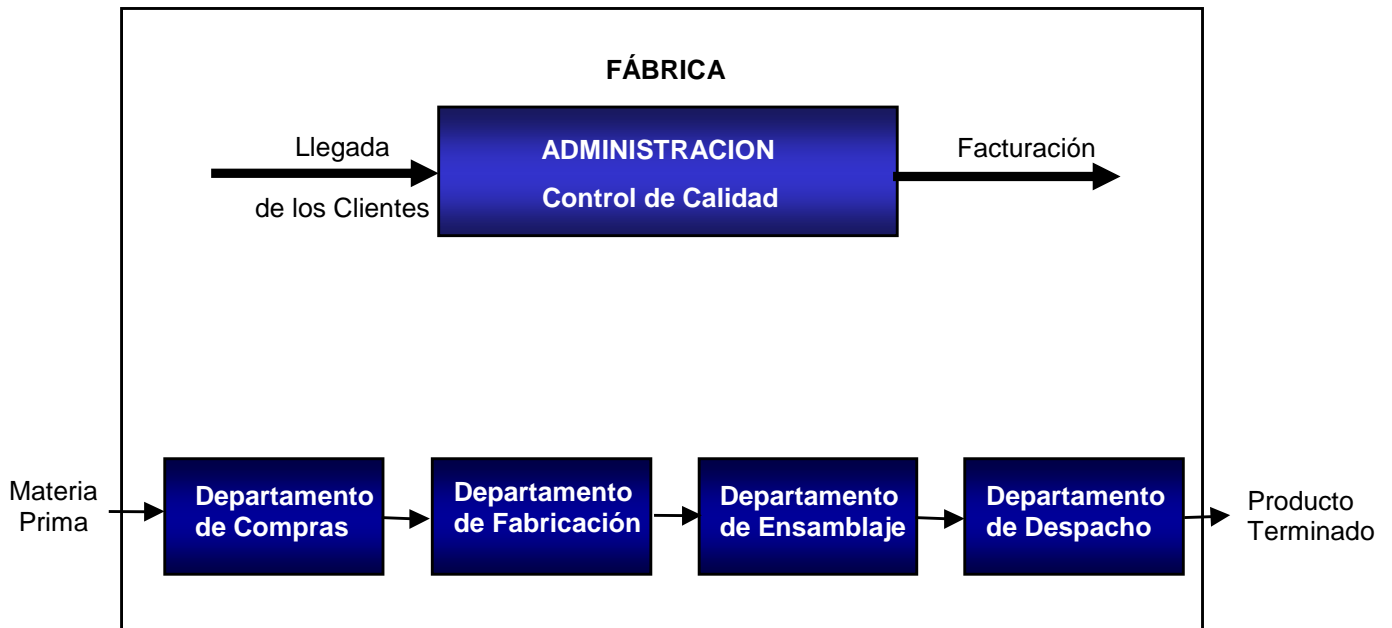


**Ejemplo de evento sobre una llegada de cliente al banco**

### 1.3.1 Ejemplos de Arquitecturas Básicas de Sistemas

#### 1.3.1.1 Sistema de Producción y Ensamblaje de Dispositivos Electrónicos:

| ENTIDADES                                      | ATRIBUTOS                             | ACTIVIDADES  |
|--|---------------------------------------|--|
| Departamento de Fabricación de Piezas y Partes | Tipo de piezas o partes               | Fabricar piezas  |
| Departamento de Ensamblaje                     | Cantidad de piezas de cada producto   | Unir las piezas que forman el producto                                   |
| Departamento de Compras                        | Cantidad de partes de un departamento | Mantener el suministro de materia prima                                  |
| Departamento de Despacho                       | Cantidad de Despachadores             | Enviar productos terminados  |
| Departamento de Control de Producción          | Cantidad de órdenes                   | Recibir órdenes de los clientes y asignar trabajos a otros departamentos |

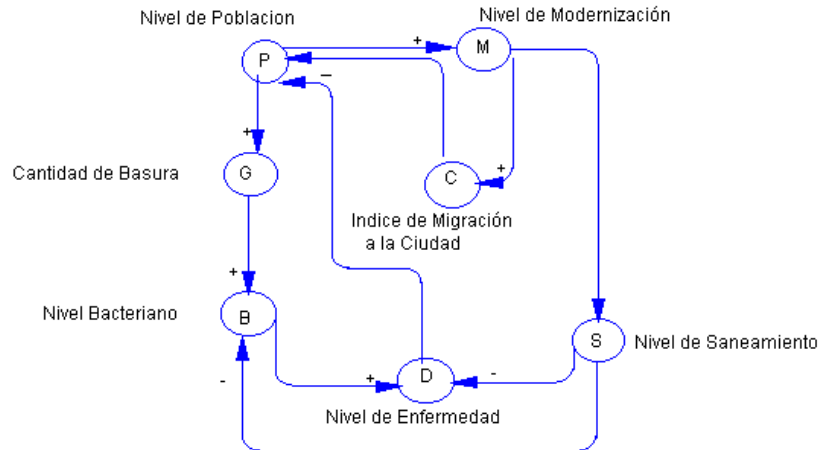


**Figura No. 1.4 Proceso de Fabricación**

La figura 1.4 representa la relación entre cada departamento de la fábrica. La materia prima, que es un elemento externo, llega al departamento de compras, este a su vez envía el material de fabricación para que se produzcan las piezas. El departamento de ensamblaje recibe las piezas terminadas y arma cada producto, enviándolos al siguiente departamento para su distribución. El departamento de control de calidad supervisa las acciones de todos

los departamentos, además de recibir las órdenes de compra para la asignación de la producción.

### 1.3.2 Sistema Urbano



*Figura 1.5 Diagrama de Ciclos Causales*

Los cuatro subsistemas principales que lo forman son:

- Población: cuyos elementos son las personas.
- Modernización: edificios, carreteras, alcantarillas.
- Saneamiento: carros de recolección de basura, el personal de aseo, lugar de almacenamiento de la basura, sus rutas.
- Enfermedades: resfrío, etc.

Atributos de estos componentes principales:

- Población: Cantidad de personas, edad, localidad, nivel de educación, índice de migración.
- Modernización: Materiales usados en las diferentes estructuras.
- Saneamiento: Estado de vehículos, niveles de basura en el lugar de almacenamiento.
- Enfermedades: Existencia o no de epidemias debido al nivel bacteriano provocado por la presencia o ausencia de lluvias y cambios de temperatura.
- Ambiente: Abarca otras ciudades de los alrededores, los aviones y barcos que vienen de otros países.
- Actividad: En el esquema causal que se muestra en la figura 1.5 interactúan siete componentes. Los símbolos indican que un aumento del nivel de la modernización produce un incremento en el nivel de saneamiento, y una reducción de la modernización implica una disminución del saneamiento.

Un aumento del saneamiento produce una disminución del nivel de enfermedades y una reducción del saneamiento causa un aumento del nivel de enfermedades.

El ciclo o lazo P - M - C - P sugiere: "un aumento de la población tiende a incrementar el nivel de modernización que estimula la migración a la ciudad, lo que hace que aumente el tamaño de la población".

### 1.3.3 Sistema de Señalización de una Intersección<sup>4</sup>

Este ejemplo presenta las características más importantes de una intersección.

| ENTIDAD      | ATRIBUTOS   | ACTIVIDADES  | ESTADO  |
|--------------|---|--|---|
| Vehículo     | Cantidad de pasajeros<br>Tamaño<br>Tipo de transporte (particular, comercial, colectivo),<br>Kilometraje, modelo, color, uso. | Transportar personas, animales y objetos   | Movimiento<br>Detenido<br>Dañado  |
| Peatones     | Tipo de peatón (niño, estudiante, etc.)<br>Nacionalidad<br>Rasgos físicos (tamaño, color, etc.)                               | Cruzar la calle  | Cruzando la calle<br>Esperando para cruzar la calle<br>Accidentado            |
| Semáforo     | Cantidad en la intersección<br>Color<br>Tamaño<br>Tipo (inteligente u otros)  | Controlar el tráfico de vehículos<br>Controlar el tráfico de peatones<br>Evitar accidentes | Luz verde<br>Luz roja<br>Luz amarilla<br>Luz intermitente<br>Dañado (apagado) |
| Señalización | Color<br>Tamaño   | Indican la dirección por donde deben pasar los vehículos<br>Indican las regiones           | Borrosas<br>Claras  |

<sup>4</sup> Este ejemplo se presenta en más detalle en la sección 1.12

### 1.3.4 Otros Ejemplos de Sistemas y sus Propiedades

| SISTEMA                  | ENTIDADES   | ATRIBUTOS   | ACTIVIDADES  |
|--------------------------|---|---|--|
| Tráfico                  | Carros,<br>Motorizados<br>Semáforos<br>Conductor  | Velocidad<br><br>Distancia<br>Edad, Habilidad                   | Manejo   |
| Banco                    | Clientes<br>Cajero<br><br>Seguridad   | Saldos<br>Estados de<br>Crédito                                 | Depositar<br>Retirar<br>atender clientes<br>mantener la<br>seguridad   |
| Comunicaciones           | Mensajes  | Largo<br>Prioridad<br>Cantidad                                  | Transmitir   |
| Supermercado             | Clientes<br>Carritos<br>Cajeros<br>Guardias de<br>seguridad   | Lista compras<br>Tamaño<br>Cuanto                               | Pagar<br>Formar fila<br>Tomar artículos<br>Mantener la<br>seguridad  |
| Hospital                 | Secciones de:<br>consulta ext.<br>consulta interna,<br>sala de R/X,<br>médicos,<br>pacientes,<br>enfermeras,<br>laboratorios,<br>secretarias. | Número de<br>camas,<br>clínicas,<br>aparatos,<br>especialidades | Atender<br>Pacientes de<br>acuerdo con citas<br>y emergencias<br><br><br><br><br><br>Atender a<br>pacientes para<br>enviarlos a las<br>áreas<br>correspondientes |
| Departamento de bomberos | Estaciones<br>bomberos<br>equipo, incendios   | Ubicación<br>especialidad<br>tamaño                             | Responder<br>llamadas según<br>orden de llegada  |

### 1.3.4.1 Otros Ejemplos de Sistemas y sus Componentes

| Sistema               | Entidades | Atributos                                  | Actividades      | Eventos                                      | Variables de Estado                                      |
|-----------------------|-----------|--|------------------|--|--|
| <b>Banco</b>          | Clientes  | Estado de cuenta                           | Depositar        | Llegadas, Salidas                            | Número de cajeros ocupados, número de clientes en espera |
| <b>Ferrocarril</b>    | Viajeros  | Orígenes, Destinos                         | Viajar           | Llegada a una estación. Llegada a un destino | Número de viajeros esperando en cada estación            |
| <b>Producción</b>     | Máquinas  | Rapidez, Capacidad, tasa de descomposturas | Estampar, Soldar | Descompostura                                | Estado de las máquinas                                   |
| <b>Comunicaciones</b> | Mensajes  | Tamaño, destino                            | Transmisión      | Recepción en el destino                      | Mensajes en espera a ser transmitidos                    |
| <b>Inventario</b>     | Almacén   | Capacidad                                  | Disponer         | Demanda                                      | Nivel del inventario, Demanda acumulada                  |

## 1.4 Clasificación de los Sistemas

Los sistemas se pueden clasificar de diferentes formas. Es necesario hacer esto porque podrían resultar confusiones si hablamos de características y comportamientos sin antes identificar y especificar la clase de sistema a la que nos referimos. La clasificación permite comunicar la perspectiva que se tiene desde un mismo marco de referencia. La siguiente es la más aceptada y la que utilizaremos en este libro<sup>5</sup>. En el siguiente capítulo se detallan estas clasificaciones.

### 1.4.1 Sistemas Continuos y Sistemas Discretos

Cuando aplicamos los términos continuo o discreto, estamos hablando de la naturaleza o comportamiento de sus actividades a través del tiempo. Si las actividades ocurren en puntos

---

<sup>5</sup> Existen otras clasificaciones.



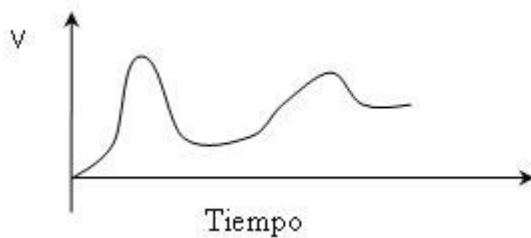
específicos en el tiempo se les llama sistemas *discretos*. Si, por el contrario, las actividades ocurren continuamente a través del tiempo se les llama sistemas *continuos*.

Algunas veces se presentan ambas propiedades y son pocos los sistemas que resultan absolutamente discretos o continuos. Sin embargo, en la mayoría de los casos predomina uno de los dos tipos. Si un sistema contiene variables continuas y discretas se le considera como híbrido.

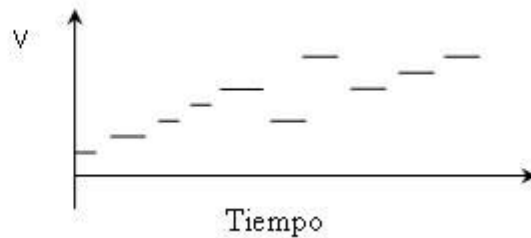
Un ejemplo de sistemas discretos sería la sala de maternidad de un hospital. Si la variable de interés es la que representa el número de nacimientos este resulta un sistema discreto. Los nacimientos se dan en puntos específicos en el tiempo.

Por el contrario, el sistema tráfico en un tramo de una autopista muy transitada durante el período de carnaval o semana santa, si la variable de interés es la distancia o tiempo transcurrido entre la salida de un vehículo u otro se considera continua.

Ejemplo



Sistema Continuo



Sistema Discreto

### 1.4.2 Sistemas Determinísticos y Sistemas Estocásticos

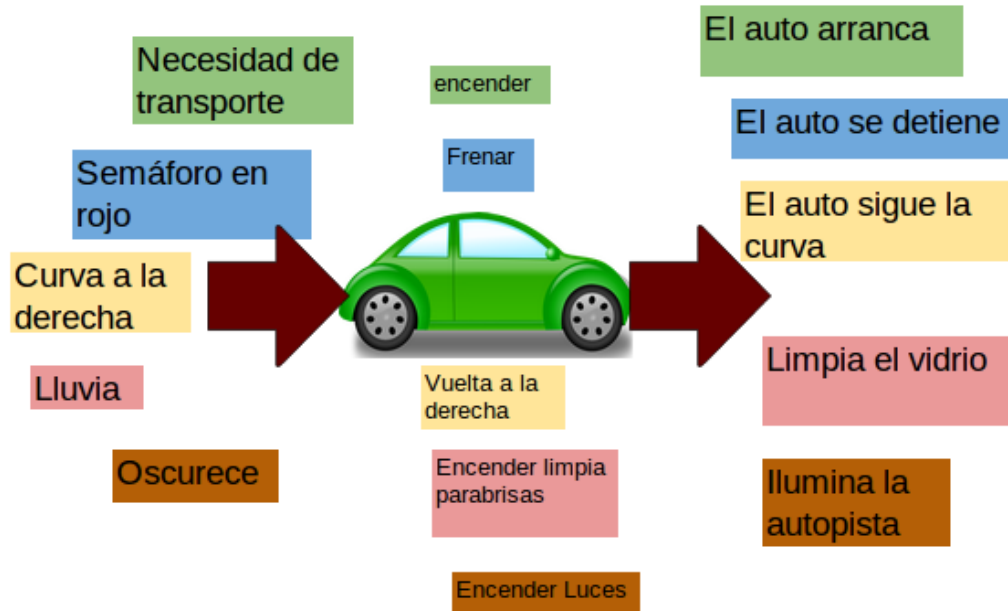
Esta clasificación está relacionada con la manera en que se describen las actividades del sistema.

Un sistema es *determinístico*, cuando el resultado de una actividad se describe en términos de su entrada. Así, un sistema determinístico es aquel en el cual el nuevo estado del sistema se determina completamente por el estado y la actividad anterior.

Un sistema es *estocástico*, cuando los efectos de una actividad varían aleatoriamente. Contiene una cierta aleatoriedad en su transición de un estado a otro. Una actividad estocástica, parece indicar que la misma es parte del ambiente, puesto que el resultado exacto en cualquier tiempo se desconoce. Una salida aleatoria puede medirse con frecuencia describiéndola como una distribución de probabilidad y no hay explicación

conocida para esa aleatoriedad. Sin embargo, cuando hay problemas para describir una actividad se le considera estocástica.

En el ejemplo del sistema *auto-conductor* la actividad de pisar el freno y que el carro se detenga, es determinística. Siempre a la acción de pisar el freno, el auto se detendrá (quiere decir que el resultado está determinado). En cambio, en el caso del resultado de girar una ruleta, este es estocástico, ya que todos los números tienen la misma oportunidad de salir.



Ejemplo de Sistema Determinístico

### 1.4.3 Sistemas Abiertos y Sistemas Cerrados

Un sistema *abierto* es aquel en el cual los cambios de estado se deben a actividades tanto internas (endógenas) como externas (exógenas). Quiere decir que realizan intercambios con su medio ambiente. Los seres vivos presentan esta característica.

Se les llama sistema *cerrado* a aquellos cuyos cambios de estado se presentan solamente como resultado de actividades internas o endógenas. Por ejemplo, un reloj marca la hora sobre la base de actividades exclusivamente endógenas<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Ya salieron relojes que son capaces de comunicarse con el ambiente (una señal) que transmite la hora exacta, la cual se compara con la del reloj para hacer el ajuste necesario.

**Es importante mencionar que muchas veces es difícil distinguir entre un cambio endógeno o exógeno para establecer una clasificación. De ahí que, para poder determinar la clasificación de un sistema específico, se tenga primero que definir su(s) objetivo(s).**

Existen otros tipos de clasificaciones que también son importantes para otras disciplinas del conocimiento humano.

## 1.5 Simulación

El término simulación se popularizó a finales de 1940, cuando John Von Neumann y Stanislaw Ulam desarrollaron el *Análisis Monte Carlo*, tema que veremos en uno de nuestros siguientes capítulos.

Desdichadamente no existe un acuerdo entre aquellos que usan el término simulación. Churchman define simulación en los siguientes términos:

**'A simula a B' si y sólo si:**

- A y B son formales.
- B se considera como el sistema real.
- A se considera el modelo de B.
- Las reglas de validez de A no están exentas de errores. Esto quiere decir que A es una aproximación de B.

Otras definiciones que se encuentran en la literatura son:

- Proceso de realizar experimentos con un modelo en lugar de hacerlos con un sistema real.
- Técnica numérica diseñada, para experimentar el comportamiento de cualquier sistema que se desarrolla en períodos prolongados en una computadora digital.
- Método de resolver problemas, siguiendo los cambios en el tiempo, de un modelo dinámico de un sistema.
- Operación de un modelo, el cual es una representación del sistema. Este método puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o poco prácticas. La operación del modelo puede estudiarse y con ello, inferirse las propiedades concernientes al comportamiento del sistema real.

Debido a que nuestro estudio lo enfocaremos a experimentos con modelos que puedan realizarse mediante computadoras digitales y que ocurren en períodos extensos de tiempo, bajo condiciones probabilísticas o dinámicas utilizaremos la siguiente definición:

Otra definición:

**La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir el experimento con este modelo con el propósito de entender su comportamiento o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el mismo**

**--Robert E. Shannon**

Con la simulación se persiguen algunos de los siguientes objetivos:

- Describir y entender el comportamiento del sistema por medio de la construcción de un modelo que sea lo más semejante al sistema.
- Presentar teorías o hipótesis que traten de mejorar el comportamiento de algún componente y objetivo del sistema.
- Predecir el comportamiento futuro del sistema en condiciones actuales o con los cambios que se le propongan.

La simulación de modelos complejos requiere, por lo general, muchos cálculos computacionales y utilizar modelos secuenciales hace difícil obtener resultados significativos. Para mejorar la eficiencia de las simulaciones se proponen diversas soluciones para ejecutarlas en paralelo o de forma distribuida. En la actualidad hay dos enfoques principales para hacer simulación paralela o distribuida: Un enfoque pesimista, que trata de establecer los caminos de los mensajes en la simulación para evitar errores de causalidad (aquellos en los que el futuro pueda afectar al pasado, por llegada en orden no temporal de los mensajes que se están transmitiendo en el sistema multiprocesador). Otro mecanismo, optimista, permite un mayor grado de paralelismo ignorando los posibles errores de causalidad y presuponiendo que los mensajes llegarán en el orden correcto a través del tiempo.

Estos tres objetivos resumen muy bien qué se desea lograr con una simulación. En la sección 1.7 se presentan algunas aplicaciones interesantes de la simulación.

## 1.6 Naturaleza Experimental de la Simulación

La técnica de simulación tiene como objetivo, observar la forma como cambian las variables del modelo a través del tiempo. De estas observaciones se pueden deducir las relaciones existentes entre las diferentes variables.

Para observar cómo cambian las variables y las relaciones que participan en los sistemas, se debe planear la simulación como una serie de experimentos que nos ayudarán a comprender y determinar con mejor exactitud estas relaciones.

Existen dos elementos que describen el cambio de estados en el tiempo en la simulación.

Uno de ellos es la magnitud; el otro el retraso. La magnitud de un cambio se refiere a la diferencia absoluta en el valor de un atributo durante un período específico comparado con su valor antes que el cambio.

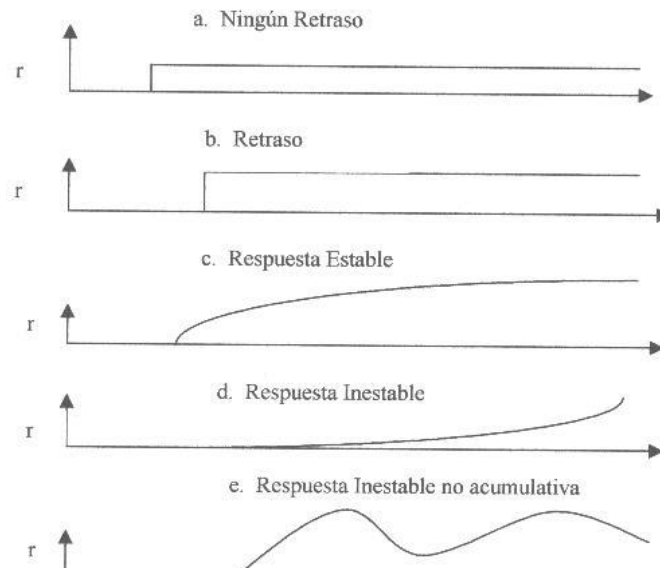
El lapso entre el estímulo y el cambio de estado recibe el nombre de retraso. A las características de la magnitud del cambio y el retraso se les llama respuesta del sistema. La figura 1.6 describe cinco posibles respuestas del sistema. Las opciones *a*, *b*, *c* ilustran respuestas estables ya que en cada caso el estado del sistema se mueve, ya sea en forma inmediata o durante cierto tiempo hasta lograr un nuevo equilibrio permanente o estado estable con un valor finito en la respuesta a un solo estímulo. Dícese de un sistema en proceso de cambio pasar de un estado de equilibrio a otro, que se encuentra en un estado transitorio. La opción *d* presenta una respuesta inestable que continúa creciendo sin tener una convergencia definida hacia un nuevo valor finito. La opción *e* describe un sistema donde existe un nivel de equilibrio  $r$ , pero la respuesta del sistema oscila alrededor de este nivel sin ninguna evidencia de convergencia. A un sistema con esta respuesta, se le llama inestable pero no creciente, en contraste con un sistema cuya respuesta es como en la opción *d*.

## Rendimiento de los Sistemas

### Ejecución

Se ha explicado que tres razones para analizar un sistema eran comprender como ocurre el cambio, así como predecirlo y controlarlo. Estas razones nacen de un deseo de mejorar el funcionamiento de un sistema en cierto sentido.

Por la ejecución del sistema se refiere a la secuencia de estado que un sistema adopta durante un intervalo específico. Estos estados suelen promediarse en alguna forma para proporcionar una sola medida del funcionamiento.



**Figura 1.6 Ejemplo de Respuesta del Sistema**

## Optimización

El objetivo ideal de la simulación es *optimizar el rendimiento* del sistema, lo cual supone controlar algún aspecto de un sistema de manera que se pueda obtener el mejor rendimiento posible. Por lo general, algunos aspectos del sistema quedan fuera del control del analista, y a menudo imponen restricciones sobre el comportamiento del mismo, los cuales excluyen una optimización ilimitada. En tales casos el objetivo es optimizar la ejecución sujeta a las restricciones.

La manera en que se desarrollan los experimentos de simulación depende de la naturaleza de su estudio. Estos estudios del sistema pueden ser de tres tipos los cuales se mencionarán a continuación.

### 1.6.1 Análisis del Sistema

El objetivo es analizar el comportamiento del sistema. Cuando el analista comienza su análisis, debe observar las partes que lo integran y cómo interactúan una con las otras dentro del sistema como un todo. El analista necesita estudiar el sistema como un todo, pero también las partes que lo integran.

Mencionemos algunas tareas que debe realizar el analista:

- Observar las entradas y salidas del sistema.
- Observar la estructura y comportamiento interno del sistema:

- Explicar el proceso intermedio entre las salidas y entradas.
- Postular una configuración del sistema en términos de entidades y relaciones.
- Diseñar un modelo de computadora.
- Asignar valores a las entradas que se asemejen al sistema real para producir salidas que también se asemejen al sistema real.

Ejemplo del Análisis de un Sistema:

Consideremos un sistema de compra de libros dentro de una librería al utilizar el enfoque de análisis del sistema.

- Debemos observar las entradas y salidas producidas por dicho sistema en estudio. En nuestro caso el sistema de compra de libros posee como entradas los pedidos de los clientes y como salidas los cheques de pago para el editor.
- Los procesos intermedios realizados por este sistema pueden ser: Validar Pedidos, Enviar Necesidades. Estos procesos pueden ser productos de los pedidos del cliente y producir la salida de los cheques para los editores.

### 1.6.2 Diseño del Modelo del Sistema

El propósito del diseño es producir un modelo del sistema que satisfaga algunas especificaciones ya definidas. Entre las tareas que debe realizar el analista podemos mencionar:

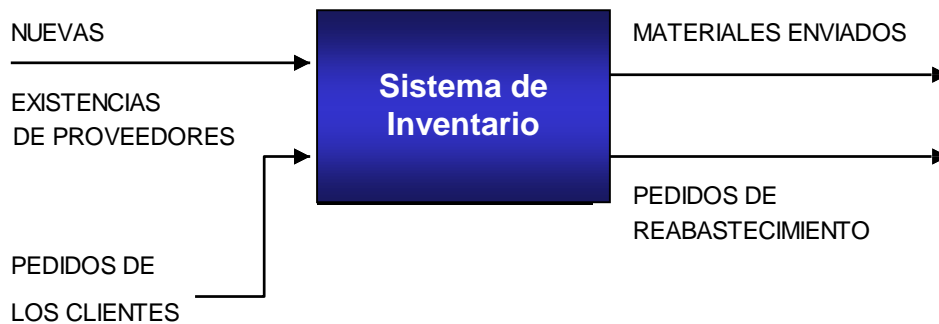
- Reunir todos los componentes del sistema.
- Establecer un diseño que optimice en alguna medida el comportamiento del sistema, como su costo y tiempo, beneficio, la utilización de sus recursos y la estabilidad.
- Procesar un modelo que puede sufrir cambios.
- Finalmente diseñar un modelo que se aproxime a lo deseado.

**Ejemplo de Diseño del Modelo del Sistema:**

Consideremos el problema de diseñar un sistema de inventario al menudeo (ver Figura 1.7):

- Las entradas en el sistema serán las nuevas existencias de los proveedores y de los pedidos que hacen los clientes.
- Las salidas serán los materiales enviados y los pedidos de reabastecimiento.

- El tiempo utilizado para procesar o llenar un pedido se selecciona arbitrariamente para observar la eficiencia del sistema.
- El sistema de inventario se puede representar como el conjunto de entidades, renglones de existencia, empleados y documentos que el diseñador puede utilizar para que el tiempo de pedido sea mínimo.
- Al especificar el contenido o valor de los atributos, el analista propone una alternativa de diseño; a partir de la cual se pueden hacer cambios, hasta que dependiendo de la información que nos dé el modelo (nivel de inventario, existencia sobre pedidos) se llega a un diseño definitivo y eficaz.



**Figura No. 1.7 Sistema Simple de Inventario**

### 1.6.3 Postulación del Sistema

Las postulaciones se utilizan en sistemas en los cuales se conocen su comportamiento, pero no los procesos que producen determinado comportamiento. El analista debe considerar:

- Establecer hipótesis de un conjunto probable de entidades y actividades que puede explicar su comportamiento.
- Conducir experimentos con el modelo que prueben la hipótesis planteada y recolectar los resultados.
- Comparar la respuesta del modelo sobre la base de esas hipótesis contra el comportamiento conocido del sistema. Esta comparación debe conducir de forma natural a la suposición de que la estructura del modelo es semejante al modelo real.

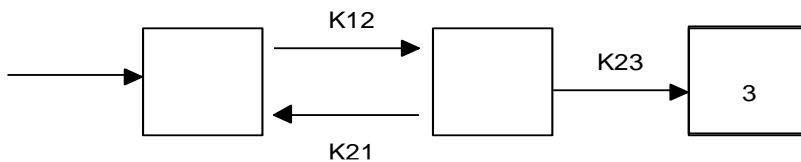
#### **Ejemplo de Postulación del Sistema:**

Describiremos un ejemplo de este tipo de estudio diseñado para investigar el funcionamiento del hígado en el cuerpo humano.

- Cuando se inyecta el producto químico tiroxina en el torrente sanguíneo, llega hasta el hígado, el cual lo cambia a yodo, que es absorbido por la bilis.



- Sin embargo, ni la conversión ni la absorción ocurren instantáneamente. Parte de la tiroxina vuelve a entrar en el torrente sanguíneo para recircularse y volver al hígado.
- Utilizando isótopos radiactivos es posible medir la rapidez con que se elimina la tiroxina del torrente sanguíneo, aunque no se conoce el mecanismo específico por el cual se transfiere de la sangre al hígado y de allí a la bilis.
- En este estudio se formuló un modelo matemático representando el cuerpo humano como tres comportamientos, y las razones a la que se transfiere la tiroxina entre los comportamientos, son proporcionales a la concentración de ella en los comportamientos.
- La figura 1.8 nos muestra el modelo y muestra los coeficientes supuestos de transferencia entre los comportamientos. Los comportamientos 1, 2, 3 representan los vasos sanguíneos, el hígado y la bilis respectivamente.
- El modelo conduce a tres ecuaciones diferenciales simples y sus soluciones generales.
- Se comparan las mediciones reales con las predicciones del modelo y se observan los resultados del modelo y los del experimento. Si la correspondencia entre los resultados es buena, sugiere que la hipótesis hecha podría resolver el modelo con cierta exactitud.



$$\frac{d x_1}{d t} = -K_{12} X_1 + K_{21} X_2$$

$$X_1 = C_{11} e^{-b_1 t} + C_{12} e^{-b_2 t}$$

$$\frac{d x_2}{d t} = K_{12} X_1 - (K_{21} + K_{23}) X_2$$

$$X_2 = C_{21} e^{-b_1 t} + C_{22} e^{-b_2 t}$$

$$\frac{d^3 x}{dt^3} = K_{23} X_2$$

$$X_3 = C_{31} + C_{32} e^{-bt_1} + C_{33} e^{-bt_2}$$

**Figura No. 1.8 Coeficientes de Transferencia**

Dos estudios que parecen ser semejantes son: el diseño y el análisis del sistema, los cuales no son iguales, ya que el diseño le corresponde obtener información del sistema que el analista ha ideado y que por consiguiente conoce bien, mientras que en el análisis se emplea la simulación para comprobar hipótesis sobre un sistema no conocido a fondo y tratando de que las salidas del modelo del sistema sean similares a las salidas del sistema, ejemplo: Figura 1.6: Ejemplo de Respuesta del Sistema Real.

## 1.7 Usos de la Simulación

La simulación puede usarse en el estudio de una infinidad de sistemas.

A continuación, se presentan ciertos ejemplos.

### 1.7.1 Sistema de Transporte

Aplicado a este tipo de sistema nos puede servir para el diseño de flotas de buques, diseño de cisternas para las empresas petroleras, y en las operaciones de las líneas aéreas comerciales. También se simulan redes de carreteras al tratar de desplazar personas y materiales con mayor rapidez a zonas urbanas.

### 1.7.2 Sistemas de Información para la Toma de Decisiones de una Empresa

Si determinada empresa desea saber el impacto de un nuevo producto en el mercado, puede desarrollar una simulación para determinar si es factible o no el lanzamiento del nuevo producto.

### 1.7.3 Sistemas Económicos

Se puede utilizar en modelos para comprobar hipótesis sobre resultados de normas propuestas y anticipar cambios del sistema. Existen modelos econométricos que estudian el comportamiento, por ejemplo, de la pobreza y determinan cuáles son las variables

independientes que tienen que ser mejoradas para disminuir el nivel de pobreza de una región.

#### **1.7.4 Sistemas Físicos y Químicos**

Como en el caso del análisis de los vuelos espaciales y en las pruebas nucleares para analizar la fuerza de las explosiones y sus efectos en la contaminación del medio ambiente.

#### **1.7.5 Sistemas Biológicos y Físicos**

El modelaje de cuencas fluviales para conocer efectos de desbordamiento o desechos procedentes de actividades o de fabricación. En el análisis de la capacidad de sistemas para sostener varias formas de vida silvestre y también en los estudios de cómo puede afectar la variación del clima, la existencia de agua y alimentos.

Podemos además hablar de la simulación de redes neuronales artificiales, las cuales son sistemas dinámicos de elementos simples, interconectados paralelamente que interactúan con el medio ambiente como lo hacen los sistemas neuronales biológicos.

#### **1.7.6 Sistemas de Procesamiento de Transacciones**

Se puede determinar mediante el uso de la simulación, qué tan eficaz puede ser procesar las órdenes de compra dentro del departamento de venta de una determinada empresa; y mediante estos resultados, determinar qué tipos de mejoras se pueden implementar para hacer que el departamento sea mejor.

#### **1.7.7 Sistema Educativo**

La simulación se puede utilizar en un sinnúmero de escenarios dentro de la educación. Dos usos en el proceso educativo:

- Durante la enseñanza-aprendizaje.
- En la evaluación.

Durante la enseñanza-aprendizaje, los diversos tipos de simulación disponibles pueden utilizarse no sólo para el mejoramiento de las técnicas de diagnóstico, tratamiento y de resolución de problemas, sino también para mejorar las facultades psicomotoras y de relaciones humanas, donde en ocasiones pueden ser más eficaces que muchos métodos tradicionales, todo lo cual está en dependencia fundamentalmente de la fidelidad de la simulación.

La simulación posibilita que los educandos se concentren en un determinado objetivo de enseñanza; permite la reproducción de un determinado procedimiento o técnica y posibilita que todos apliquen un criterio normalizado.

**Ventajas:**

El empleo de la simulación conlleva las ventajas siguientes, permite al educando:

- Obtener durante el ejercicio de la simulación datos realistas.
- Enfrentar los resultados de investigaciones, intervenciones y maniobras, de forma muy parecida a como tendrá que realizarlo durante su ejercicio profesional.
- Autoevaluarse.
- Acortar los períodos necesarios para aprender y aplicar lo aprendido, en algunas de sus variantes, ante nuevas situaciones.

**Limitaciones:**

- La simulación imita, pero no reproduce exactamente la vida y, a juicio de muchos autores, este es su mayor inconveniente.
- Hay aspectos de la realidad que no se pueden simular, cuestión que hay que tener presente siempre que empleamos cualquier tipo de simulación.
- Hay que ser muy cautos al hacer predicciones basándonos en las respuestas obtenidas mediante una situación simulada- cómo se conducirá una persona ante una situación real.
- No podemos restringir el desarrollo de las habilidades ni la evaluación del rendimiento de un estudiante solamente mediante la simulación, pues en las ciencias de la salud es fundamental enseñar y evaluar el desempeño de muchas habilidades profesionales, en y a través de la propia realidad, es esencial, por lo tanto, combinar el empleo de diferentes métodos y recursos.

La simulación es un método muy útil, tanto cuando se emplea con fines educacionales como evaluativos.

**1.7.8 Modelado del Clima**

La simulación nos puede ayudar a responder muchas preguntas relacionadas con los cambios del clima. Con el uso de simulaciones numéricas para representar las variaciones del clima para un año, una década, o muchos miles de años. Estos cálculos son complejos y requieren un equipo computacional poderoso, competente en billones de operaciones matemáticas de punto flotante.

En la actualidad se quiere, utilizar la simulación de clima para obtener los climas del futuro mediante el uso de los “General Circulation Models” (GCMs) usados en laboratorios

alrededor del mundo. Cada modelo divide la atmósfera en capas y la Tierra en líneas de latitud y longitud. Estos modelos utilizan como entrada la cantidad de radiación solar, cantidad de gases, la posición de la tierra, entre otros.

De estos modelos básicos se pueden desarrollar muchos GCMs que también pueden predecir los cambios en la composición química de la atmósfera, en las características de los océanos y otros rasgos de la Tierra.

### **1.7.9 Juegos Gerenciales y Operacionales**

En los juegos operacionales, se utiliza una computadora para reunir, procesar y producir información que los jugadores humanos, usualmente adversarios, necesitan para tomar decisiones sobre la operación del sistema. El objetivo de cada jugador es operar de la mejor manera posible, dada cierta información específica. Además, las decisiones de cada jugador afectan la información que proporciona la computadora conforme avanza el juego durante el tiempo simulado. La computadora también puede desempeñar una función activa tomando medidas predeterminadas o aleatorias a las cuales responden los jugadores.

Los juegos bélicos y los de administración de empresa han atraído la atención en la literatura de los juegos operacionales. Por ejemplo, el Naval Electronic Warfare Simulator, desarrollado en los años 1950 consistía en una gran computadora análoga diseñada principalmente para estudiar el daño a los buques y para proporcionar información a dos fuerzas antagónicas, con respecto a su eficiencia en una batalla naval. El ejercicio, que es una forma de los juegos de simulación, era un dispositivo de preparación para los oficiales de la flota naval en las etapas finales de su entrenamiento.

### **1.7.10 Simulación Hombre-Máquina**

La simulación hombre-máquina constituye otro concepto en las técnicas de investigación. En este caso, el juego no necesita desempeñar función alguna. Además de la computadora, algunos sujetos del laboratorio llevan a cabo la reducción de los datos y el análisis. Por ejemplo, el “Rand Systems Research” Laboratory hizo uso de la simulación para generar estímulos para el estudio de los centros de procesamiento de información. En el laboratorio se reprodujeron las características principales de una instalación de radar y, controlando cuidadosamente el dato de entrada sintética del sistema y registrando el comportamiento de los detectores humanos, fue posible examinar la eficiencia relativa de las diversas combinaciones de hombres-máquina y procedimientos.

En 1956, Rand estableció el “Logistics System Laboratory” patrocinado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. El primer estudio en este laboratorio supuso la simulación de dos

grandes sistemas de logística a fin de comparar su eficiencia bajo administración diferente y de las políticas de aprovechamiento de recursos. Cada sistema consistía en hombres y máquinas, junto con las reglas de la política para la utilización de tales recursos en situaciones simuladas de conflicto, como es la guerra. El medio ambiente simulado requirió de un número específico de aviones en estados de vuelo y alerta, mientras que la capacidad del sistema para satisfacer estos objetivos quedaba limitada por partes que funcionaban mal, los retrasos en la obtención y el transporte, etc. Los participantes humanos representaban personal administrativo, y las políticas de nivel superior para el aprovechamiento de los recursos eran simuladas en la computadora. El criterio final de la eficiencia de cada sistema era el número de aviones operacionalmente listos y el costo de mantener este número.

### **1.7.11 Otras Áreas de Utilización de la Simulación**

Existen muchos ejemplos donde la simulación se utiliza exitosamente para entender y mejorar sistemas existentes o nuevos. Por ejemplo, en las siguientes áreas se realizan todo tipo de simulaciones:

- Diseño de Circuitos
- Control de Tráfico Aéreo
- Diseño de Aeropuertos
- Despacho y Localización de Ambulancias
- Horario de Líneas de Ensamblaje
- Banca y Finanzas
- Horario de Mantenimiento de Aviones
- Diseño de Sistemas de Comunicaciones:
  - Rutas Telefónicas
  - Sistemas de Mensajes
  - Comunicación Móvil
  - Computadoras de Tiempo Compartido
- Diseño de Sistemas de Distribución
  - Oficinas de Correos
  - Localización de Depósitos
- Modelos Industriales
  - Textil
  - Petrolero
- Diseño de Sistemas de Información

## 1.8 Ventajas y Desventajas de la Simulación

A todos los modelos de simulación se les llama también modelos de INPUT-OUTPUT, ya que ellos producen una salida dada, la cual hace de entrada para los sistemas que interactúan. Los modelos de simulación son por consiguiente corridos en orden para obtener los resultados o la información deseada.

Los modelos de simulación sirven como una herramienta para analizar el comportamiento de un sistema bajo condiciones especificadas por el experimento, así ya no es una teoría, sino una metodología para solucionar problemas.

### Algunas Ventajas de la Simulación:

- Permite realizar experimentos en forma controlada. Un experimento de simulación puede repetirse varias veces, variando los parámetros de entrada para probar el comportamiento del sistema bajo una variedad de situaciones y condiciones.
- Permite reducir el tiempo necesario de un experimento. Las operaciones del sistema en períodos extendidos de tiempo pueden ser simuladas en minutos utilizando computadoras muy rápidas.
- La simulación puede ayudar al analista de sistemas a solucionar distintos problemas, llegando a ser una de las soluciones más próximas de evaluar distintos problemas.
- Permite hacer análisis de sensibilidad por la manipulación de variables de entradas. Mantiene todas las entradas constantes excepto una variable, y se podría dar cuenta de cómo afecta esa variación al sistema.
- No afecta al sistema real. Esta es una gran ventaja ya que elimina la posibilidad de perturbarlo o destruirlo.
- Es una herramienta para entrenamiento. Se trabaja con el modelo como si fuese el real.
- La simulación puede ser la única posibilidad, por la dificultad que existe en conducir experimentos y observar fenómenos en su ambiente actual.

- Los métodos analíticos están disponibles, pero los procedimientos matemáticos son también complejos y la simulación puede proveer un método simple de solución.

### **Algunas Desventajas de la Simulación:**

- Es costosa en términos de horas-hombre y tiempo de máquina.
- Algunos parámetros del modelo son difíciles de evaluar o inicializar. Ellos pueden requerir tiempos extensos en recolectarlos, analizarlos e interpretarlos.
- Ciertas suposiciones o aproximaciones pueden hacer que el sistema realizado sea muy diferente al de la realidad. Este fenómeno debe ser descubierto en la fase de validación del proceso de simulación, si no es descubierto se puede llegar a simular algo que todavía no se ha construido.
- Puede haber dificultad para mantener las mismas condiciones de operación para cada corrida del experimento.

## **1.9 Tipos de Simulación**

### **1.9.1 Simulación por Identidad (In Vivo)**

El área de aplicación que comprende los modelos de la simulación de sistemas es extensa. En un extremo, se puede tomar un sistema mismo como modelo para obtener conocimiento de su comportamiento. Si bien esta simulación por identidad parece un enfoque directo y sencillo, pasa por alto algunas reglas fundamentales de los modelos. Por lo general es cara, rara vez es factible y permite muy poco o ningún control sobre los fenómenos que afectan la respuesta. No es especialmente atractiva cuando se necesitan las respuestas en un período breve en comparación con el intervalo necesario para un estudio real que hace uso del sistema verdadero.

### **1.9.2 Simulación por Casi Identidad (Cuasi-Identidad)**

Un paso muy semejante a una simulación por identidad es tratar de que el modelo conserve sólo *todos los aspectos relevantes* del sistema real que se probarán en la hipótesis. En otras palabras, el modelo que se diseña es parecido al sistema y tiene solamente los componentes pertinentes para la hipótesis que se planteó. Por ejemplo, se desea probar unos cinturones de seguridad nuevos. Para eso, se diseña un automóvil con sólo la parte frontal donde se colocan unos muñecos y se lanza el vehículo contra una pared  $n$  veces para estudiar los efectos de los impactos.



### 1.9.3 Simulación en el Laboratorio (In Vitro)

La simulación de laboratorio ofrece un método de análisis más factible y económico que las simulaciones por identidad y por cuasi-identidad, preservando al mismo tiempo las características esenciales del sistema en cuestión.

Los componentes del laboratorio consisten en elementos tan diversos como personas, computadoras, maquinarias, procedimientos de operación, funciones matemáticas y distribuciones de probabilidad. Este enfoque abarca la capacidad para reproducir algunos aspectos de un sistema en forma literal y sustituir las representaciones simbólicas por otros aspectos. Merecen mencionarse dos tipos de simulación de laboratorio. Uno es el juego operacional y el otro, la simulación hombre-máquina.

### 1.9.4 Otra Clasificación

Otros autores dividen la simulación en dos grupos principales: aquellas que enseñan acerca de algo y aquellas que enseñan cómo hacer algo. El grupo de las que enseñan sobre algo se subdivide en Simulación Físicas y Simulaciones de Procesos. El grupo de las que enseñan cómo hacer algo se subdivide en Simulaciones de Procedimientos y Simulaciones Situacionales. Esto se puede mostrar de la manera siguiente:

Simulaciones que enseñan acerca de algo:

- Simulaciones Físicas
- Simulaciones de Procesos

Simulaciones que enseñan cómo hacer algo:

- Simulaciones de Procedimientos
- Simulaciones Situacionales



Estas clasificaciones son sumamente importantes, ya que la palabra simulación tiene diferentes connotaciones para las personas de diversas disciplinas. En el campo de la Ingeniería Civil la simulación se refiere a lo que aquí se llama Simulación de Procesos. Los educadores por otro lado normalmente tratan con Simulaciones Situacionales y los

adiestradores con Simulaciones Físicas o de Procedimientos. Muchas simulaciones no se ajustan solamente a una de estas categorías, más bien son una combinación o síntesis de más de un tipo de estas. Un sistema de clasificación ayuda a clarificar algunas de las confusiones existentes y a diseñar la simulación con las técnicas oportunas.

#### **1.9.4.1 Simulaciones Físicas**

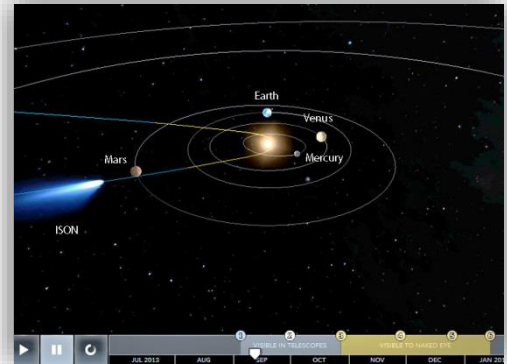
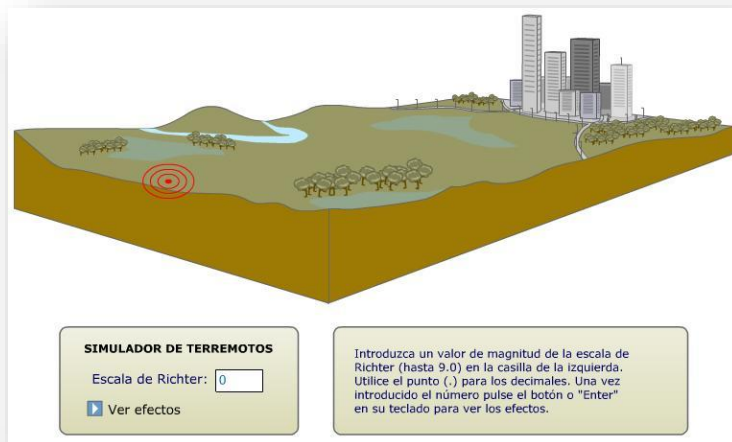
Utilizando la computadora, el objeto físico o fenómeno es representado en la pantalla, ofreciendo al estudiante la oportunidad de aprender sobre él. Ejemplos típicos sobre este tipo son: Simulaciones sobre movimientos glaciales, la luz a través de lentes y prisma o la transmisión de la electricidad a través de las líneas de riego.

Una simulación física, por ejemplo, puede ser un experimento mecánico en el cuál el estudiante propulsa un objeto variando la velocidad, el ángulo y otros parámetros. El programa muestra el rastro del objeto y grafica cualquier otra información relacionada. El estudiante puede investigar cuál sería el resultado si el objeto se moviera más rápido o en otro ángulo. El beneficio de hacer este experimento mediante la simulación es que el estudiante puede realizar un mayor número de intentos con menor esfuerzo del que utilizaría en un laboratorio con objetos reales. En el laboratorio real, los estudiantes tienen ciertas limitaciones tales como: El objeto, la velocidad, no puede manipular la fricción u otros parámetros y no puede observar la trayectoria resultante en el caso de un proyectil.

Otro ejemplo típico de simulación física es el movimiento de las moléculas del gas al manipular la temperatura, la presión y el volumen. La simulación es ideal para que el estudiante explore la relación entre estos factores expresada en las leyes del gas. El beneficio en este caso es que el estudiante puede ver el movimiento de las moléculas y el punto en que éstas chocan con los lados del envase. Esto no es normalmente apreciable a simple vista.

Existen otras simulaciones físicas de fenómenos más comunes tales como el movimiento de las estrellas y los planetas, el desarrollo de sistemas del tiempo o cómo afecta un terremoto a la superficie de la tierra.

Podemos concluir que las simulaciones físicas se utilizan generalmente para informar a los estudiantes sobre un fenómeno. Mediante este tipo de simulación, el estudiante aprende sobre los cambios que ocurren en un fenómeno al manipular algún aspecto del mundo que lo rodea.



#### 1.9.4.2 Simulaciones de Procesos

Las simulaciones de procesos son similares a las físicas en el sentido de que ambas enseñan sobre algo. Sin embargo, las simulaciones de procesos se utilizan generalmente para informar al analista acerca de un proceso o concepto que no se manifiesta visiblemente, por ejemplo, el sistema económico de un país: Cómo la ley de la demanda y la oferta afecta el precio de un producto o cómo crece o disminuye la tasa poblacional de una región. Tanto la simulación de procesos como la física se diferencian de otras simulaciones en que no son completamente interactivas. El analista selecciona los valores y parámetros al principio de la simulación y observa que ocurra el proceso sin intervenir en el mismo. Luego el analista repite el proceso cambiando los valores iniciales. En este tipo de simulación el aprendizaje se obtiene observando el efecto en el resultado al cambiar los valores iniciales.

Este tipo de simulación es utilizado por los economistas, por ejemplo, para pronosticar con cuánto capital se contará al final de un lapso, considerando factores tales como el desempleo, el ingreso nacional, la fuerza trabajadora, los impuestos y otros factores similares. Al comenzar la simulación se determina el ingreso disponible para ese período de tiempo y se seleccionan valores iniciales para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente. Entonces se realiza la simulación. Este proceso se repite una y otra vez cambiando los valores que sean pertinentes hasta determinar cuáles son las condiciones que permiten los resultados ideales.

Otro ejemplo de este tipo de simulación es un programa llamado "Catlab" (Kinnear, 1982). Mediante este programa, el estudiante seleccionará las características físicas de dos gatos, hembra y macho, hará el cruce y en segundos tendrá los gatitos con las características resultantes de acuerdo con las leyes de la genética. Este procedimiento puede repetirse cuantas veces sea necesario o se desee. Mediante esta simulación, el estudiante se familiariza con estudios genéticos y las leyes pertinentes a este campo.



#### 1.9.4.3 Simulaciones de Procedimientos

El propósito principal de las simulaciones de procedimientos es que el estudiante aprenda una secuencia de acciones que constituyen un procedimiento. Ejemplos comunes de este tipo de simulación pueden ser desde enseñar a utilizar una calculadora o un teléfono y diagnosticar el mal funcionamiento de un equipo hasta aterrizar un transbordador. Las simulaciones de procedimientos frecuentemente requieren la simulación de objetos. Sin embargo, es bueno establecer el rol que juega el objeto en una simulación de procedimientos en contraste con el que lleva a cabo en una simulación física. En la simulación física el objeto mismo es el foco de atención mientras que en las simulaciones de procedimientos el objeto es simulado para poder llevar a cabo el procedimiento que se está estudiando.

En otras palabras, el propósito primordial de la simulación de procedimientos es enseñar al estudiante cómo hacer algo mientras que en la simulación física es enseñar al estudiante cómo algo funciona. Un tipo de simulación de procedimientos muy importante es la simulación de diagnósticos. El estudiante se enfrenta a un problema y para resolverlo debe seguir una serie de procedimientos para llegar a una solución. Un ejemplo típico de esto son situaciones médicas en las cuales el estudiante debe diagnosticar a un paciente y prescribir el tratamiento adecuado. Otras simulaciones envuelven diagnosticar fallas eléctricas, de automóviles o identificar sustancias o minerales desconocidos.

En todas estas simulaciones de procedimientos cada vez que el estudiante toma una decisión la computadora reacciona proveyéndole información o retroalimentación sobre el efecto que esa acción tendría en el mundo real. Basado en esta información el estudiante tomará las decisiones sobre la próxima acción a seguir y así continuará obteniendo más información.

La característica principal de la simulación de procedimientos es que hay por lo menos una secuencia de pasos correcta, la cual el estudiante debe aprender a ejecutar. Sin embargo, a pesar de que hay diferentes maneras de llegar a la misma conclusión no todas son igualmente eficientes. Podemos concluir que este tipo de simulación le permite al estudiante explorar los diferentes pasos que se deben seguir para llevar a cabo un procedimiento y los efectos asociados con cada uno de ellos.



**Figura No. 1.9 Simulación de la Reparación de un Automóvil**

#### 1.9.4.4 Simulaciones Situacionales

Las simulaciones situacionales tratan con las actitudes y el comportamiento que deben asumir las personas ante una situación o problemática. A diferencia de las simulaciones de procedimientos, las cuales enseñan una serie de reglas, las simulaciones situacionales permiten a los estudiantes tomar diferentes roles ante una situación y explorar sus efectos. En todas las simulaciones situacionales el estudiante es la parte integrante más importante de la simulación, ya que toma el rol principal. Los otros roles son tomados por estudiantes que interactúan en el mismo programa o por la computadora quien toma el rol de una persona.

Un ejemplo de este tipo de simulación es "School Transactions" (Luntea, 1984), un programa para candidatos a maestros que simula diferentes situaciones difíciles en el salón de clases. Para cada una de las situaciones el estudiante debe tomar una decisión en cuanto a cómo resolvería la situación. Como resultado de la decisión tomada la situación puede resolverse, empeorar o permanecer igual. La computadora le proveerá un mensaje de retroalimentación basado en la decisión que el estudiante tomó y las consecuencias de la misma. El beneficio instruccional principal es que cada situación puede utilizarse la cantidad de veces que sea necesaria y tratar de resolverla de diferentes maneras hasta encontrar el modo más adecuado.



Otro ejemplo de simulación situacional es "Business" (Schenk, 1983). En este programa el estudiante juega el rol de ser un ejecutivo de una compañía y debe tomar decisiones acerca de la cantidad de empleados que debe contratar, el presupuesto necesario, el margen de producción y el margen de ventas. El programa determinará el ingreso bruto o la pérdida neta para ese año basado en las decisiones que tomó el estudiante. Este simulador le permite al estudiante aprender sobre las complejas interacciones que rodean el mundo de los negocios y las estrategias necesarias para lograr el éxito.

En este tipo de simuladores el principal objetivo es reproducir diferentes aspectos de la actividad humana. Tanto si se trata de gestionar una compañía petrolífera o de planificar y dirigir todo un enclave urbanístico. Su denominador común consiste en saber administrar unos recursos limitados aplicando una amplia variedad de estrategias (tecnológicas, económicas, sociales...) en un entorno de mediación bien definido, pero sometido a constantes cambios y complejas interacciones.

Algunos de los más conocidos juegos especializados en simulaciones situacionales son: Transport Tycoon (Desarrollo de una compañía de transportes) Roller Coaster Tycoon (Administración de un parque de atracciones), Oil Tycoon (Desarrollo de un imperio industrial basado en el petróleo), Zoo Tycoon (Construcción de un enorme zoológico).

### 1.10 Técnicas de Simulación

La ventaja de una técnica respecto a otra radica en las características básicas de las computadoras digitales y análogas. La computadora análoga representa las variables de un problema por medio de cantidades físicas que se generan o controlan fácilmente, tales como los voltajes eléctricos. Desarrolla una solución mediante operaciones simultáneas (o paralelas), mientras que las computadoras digitales convencionales realizan un procesamiento secuencial (en serie). Esto resulta en una considerable ventaja de velocidad computacional para la computadora análoga, en particular para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales.

Por otra parte, la computadora digital es capaz de una precisión y un alcance dinámico mucho mayor, debido a su habilidad para contar, efectuar operaciones lógicas, efectuar cálculos aritméticos de punto flotante y utilizar palabras de larga longitud. Por lo tanto, una de las principales distinciones entre la computadora análoga y digital es cómo se manejan las variables dependientes dentro de la computadora. En las computadoras análogas, las

variables dependientes (aunque no necesariamente las variables independientes) aparecen en forma continua. En la computadora digital, todas las variables, tanto dependientes como independientes, aparecen en forma discreta. En las computadoras análogas la precisión de los números (es decir, el número de dígitos significativos) está limitada por la calidad de los componentes del circuito, mientras que la precisión de la computadora digital depende del número de dígitos que se usan y está limitada exclusivamente por el tamaño o capacidad de los registros de memoria.

La atractiva posibilidad de combinar la velocidad de la computadora análoga con la precisión y control de lógica de la computadora digital proporcionó el estímulo inicial en lo referente a métodos computacionales híbridos. La computadora híbrida puede ser uno de varios sistemas posibles, pero el más común es la combinación de una computadora digital de propósito general, una computadora análoga y una interfaz o enlace.

En general, una computadora digital de gran capacidad puede realizar cualquier trabajo que pueda lograrse en una computadora análoga. Sin embargo, muchos problemas pueden manejarse más rápida y fácilmente, y a menor costo en la computadora análoga.

### 1.10.1 Características de la Computadora Análoga

- Las variables dependientes dentro de la máquina se manejan en forma continua.
- La precisión está limitada por la calidad de los componentes de la computadora.
- La operación paralela es posible cuando varias computaciones ocurren simultáneamente.
- La operación de tiempo real o tiempo reducido es posible cuando las velocidades de cómputo están limitadas principalmente por las características de ancho de banda de los elementos de la computadora, y no por la complejidad del problema.
- Operaciones tales como la suma, la resta, la multiplicación, la división, la integral y la generación de funciones no lineales se llevan a cabo eficientemente. Además, la computadora análoga tiene una habilidad muy limitada para tomar decisiones lógicas, almacenar datos numéricos, proporcionar largas demoras y manejar información no numérica.
- Las técnicas de programación consisten fundamentalmente en sustituir con elementos de cómputo análogos (tales como amplificadores, resistencias, condensadores, etc.) los elementos correspondientes en el sistema físico que se está simulando.
- Puede incluirse el hardware real de un sistema que se estudia en la simulación.

- El usuario puede experimentar ajustando los valores iniciales de los coeficientes en la computadora, ganando, en consecuencia, una penetración a la operación del sistema.

### 1.10.2 Características de la Computadora Digital

- Todos los datos dentro de la computadora se manejan en forma discreta.
- La operación es serial, implicando el tiempo compartido de todas las unidades operacionales y de memoria. Solamente una, o un número limitado de operaciones se llevan a cabo simultáneamente.
- La precisión es relativamente independiente de la calidad de los componentes de la computadora y está principalmente determinada por el tamaño de los registros de memoria, el número de datos significativos que se usan, y la técnica numérica seleccionada.
- Los tiempos de solución pueden ser algo prolongados y están determinados por la complejidad (es decir, el número de operaciones aritméticas que se requieren para la solución) del problema.
- Existe una habilidad para lograr un equilibrio entre el tiempo de solución y la precisión, es decir, a fin de reducir los errores mediante el incremento de la longitud de tiempo de cómputo y viceversa.
- Un número limitado de operaciones aritméticas es posible, incluyendo suma, resta, multiplicación y división; sin embargo, las operaciones más complejas, tales como diferencial e integral, deben llevarse a cabo por medio de técnicas de aproximación (métodos numéricos).
- Los datos numéricos y no numéricos se memorizan indefinidamente.
- Las operaciones lógicas se efectúan y las decisiones se toman, utilizando datos numéricos y no numéricos.
- La operación de punto decimal flotante es posible, por lo que se eliminan problemas de factor de escala.
- Las técnicas de programación incluyen varios lenguajes especiales de computadora, que a menudo tiene muy poca relación directa con el problema que se estudia.

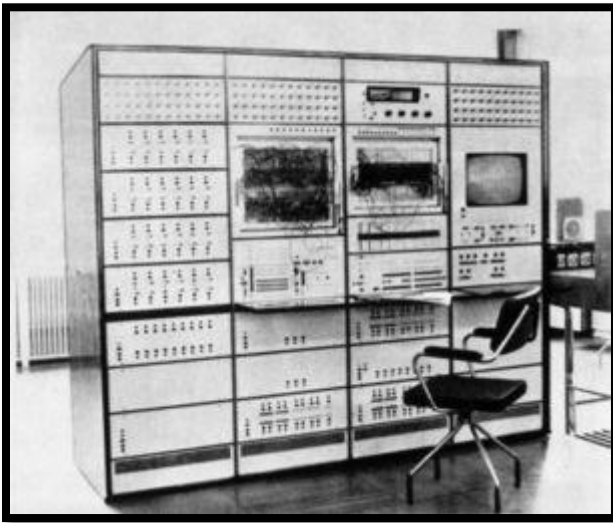
### 1.10.3 Características de las Computadoras Híbridas

- Las técnicas de la computadora híbrida son el resultado del esfuerzo de combinar las mejores características de las computadoras digitales y análogas y evitar los defectos de ambas.
- La capacidad de velocidad del equipo análogo sugiere la necesidad de una computadora digital para ciertos problemas. La exactitud computacional, la flexibilidad, la capacidad para el almacenamiento de los datos y las funciones de



control lógico de una computadora digital se han agregado para mejorar el sistema análogo.

- La porción de la computadora digital de un sistema híbrido agrega tres importantes características:
  - La posibilidad de poder controlar la computadora análoga a una alta velocidad y en operaciones complejas.
  - La adición de un sistema de almacenamiento de datos y memoria.
  - La posibilidad de operaciones lógicas y más precisión en el proceso computacional.



**Figura No. 2.0 El WAT 1001, computadora híbrida polaca.**

#### **1.10.3.1 Ventajas de la Computadora Híbrida**

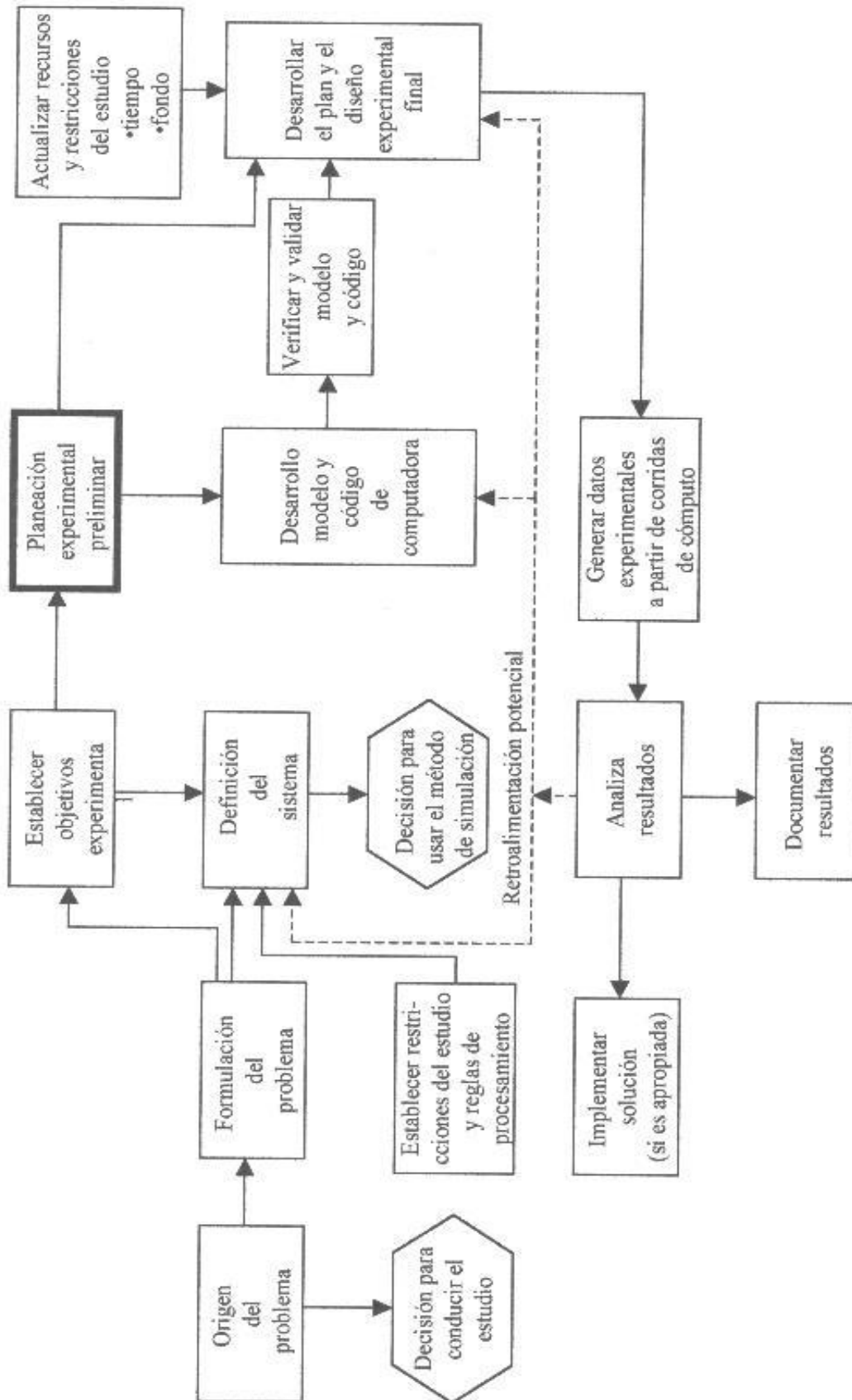
- Combinan la velocidad de la computadora análoga con la exactitud de la computadora digital.
- Incrementar la flexibilidad de una simulación análoga utilizando memoria digital y control lógico.
- Permitir el procesamiento de datos que son parcialmente discretos y parcialmente continuos.
- Permitir el uso de hardware real del sistema que se está estudiando en una simulación digital.
- Aumentar la velocidad de los cálculos digitales mediante el uso de subrutinas análogas.

#### **1.10.4 Simulación por Computadora**

Se elimina al personal y al equipo del concepto de la simulación del laboratorio y se conserva la computadora, las reglas de trabajo, las funciones matemáticas y las distribuciones de probabilidad. Se tendrán las características esenciales de una simulación total por medio de una computadora, dado que no se dispone de un método de solución analítica.

La simulación por computadora ofrece mucha conveniencia lo que la hace un método atractivo para el análisis. Puede reducir el tiempo de manera que varios años de actividad puedan simularse en minutos, o en algunos casos en segundos. Esta propiedad hace que el investigador pueda examinar diversas operaciones que desea estudiar en un lapso muy pequeño del tiempo necesario para probar cada uno en el sistema real.

Un punto importante en todo experimento es la capacidad para identificar, comprobar y controlar las fuentes de variación. Esta capacidad es importante cuando se lleva a cabo un análisis estadístico de la relación entre factores independientes (entradas) y dependientes (salidas) en un experimento. En el mundo real, la capacidad en gran parte es una función del sistema bajo estudio. En una simulación por computadora el investigador debe especificar, por necesidad y en forma explícita, las fuentes de variación y el grado de ésta debido a cada fuente, con el fin de hacer su corrida de simulación. Esta capacidad también exige que el investigador dedique suficiente atención a un sistema para que comprenda debidamente cómo describir en forma cuantitativa las fuentes de variación de la entrada que se desea incluir.



### 1.11 Razones para utilizar las Técnicas de Simulación

A continuación, se presentan algunas de las razones por las que se utilizan las técnicas de simulación. La lista no es exhaustiva:

- Contrarrestar las dificultades que aparecen al aplicar el método científico.
- Permitir el estudio y la experimentación con instalaciones internas complejas de un sistema dado, tratándose de una compañía, una industria, un sistema económico o cualquier subsistema del sistema.
- Estudiar los efectos de ciertos cambios de información y organización en el funcionamiento del sistema, haciendo alteraciones en el modelo y observando los efectos que los cambios hacen en su comportamiento.
- Emplearse como dispositivo pedagógico para proporcionar a estudiantes las habilidades básicas en análisis teóricos, estadísticos y de toma de decisiones. Por ejemplo, en la administración de empresas, la economía, la medicina, etc.
- Ayudar a incrementar los conocimientos sobre las variables más importantes dentro del sistema y su forma de interacción.
- Experimentar con situaciones nuevas sobre las que tengan pocos datos o ninguno, a fin de estar preparados para lo que pueda suceder.
- Comprobar nuevas formas y reglas de decisión con el fin de manejar un sistema, antes de que se corra el riesgo al experimentar en el sistema real.

Estudiar sistemas dinámicos ya sea en tiempo real, tiempo comprimido o extendido.

Para ciertos tipos de problemas estocásticos, la secuencia de los sucesos puede ser de vital importancia. Es posible que la información sobre los valores y los momentos esperados no sea suficiente para describir el proceso.

Cuando se introducen elementos nuevos a un sistema, la simulación se puede emplear para anticipar estancamientos y otros problemas que pueden surgir en el comportamiento del sistema.

La experiencia que se adquiere al diseñar un modelo de simulación puede ser más valiosa que la simulación en sí misma.

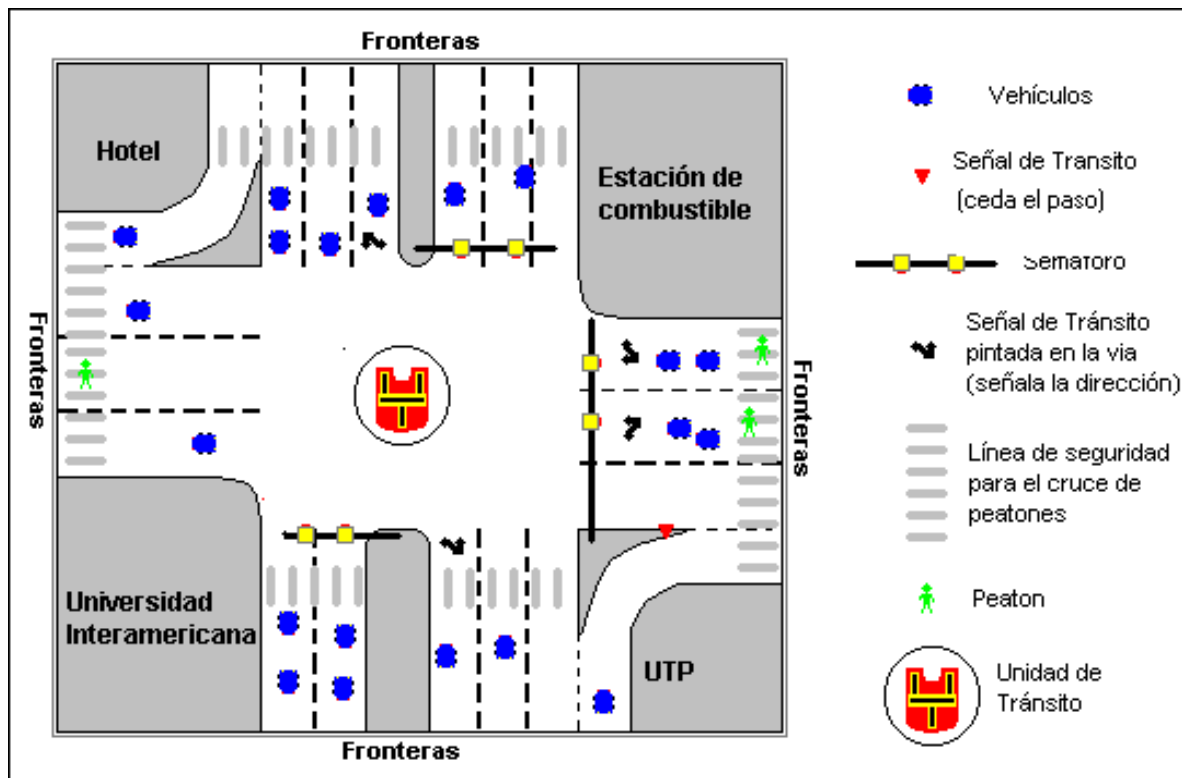
- El conocimiento que se adquiere al diseñar un modelo de simulación sugiere con frecuencia, cambios en el sistema en cuestión. Los efectos de estos cambios pueden probarse, entonces a través de la simulación, antes de implantarlos en el sistema real.
- Analizar un sistema complicado mediante el modelado de subsistemas del mismo.
- Realizar apreciaciones basándose en todos los aspectos del sistema lo cual hace que las conclusiones sean menos susceptibles de volverse impracticables dentro del sistema.

### 1.12 Caso: Sistema: Intersección de la Avenida X con la Calle Y

#### Objetivos del Sistema:

- Unir la Avenida X con la Calle Y.
- Controlar eficientemente el flujo de vehículos y peatones por medio de un semáforo o de un policía de tránsito.
- Evitar el congestionamiento en la intersección.
- Permitir una mayor seguridad para los peatones.
- Disminuir el número de accidentes de tránsito.
- Minimizar el tiempo de acceso a otras áreas.
- Permitir el flujo ordenado de vehículos.

#### Dibujo:



**Entidades del Sistema:**

| Entidad                      | Descripción  |
|------------------------------|--|
| <b>Carriles</b>              | Delimitan el área de tránsito vehicular.                                 |
| <b>Peatones</b>              | Personas que transitan por la intersección.                              |
| <b>Vehículos</b>             | Automóviles que transitan en el área.                                    |
| <b>Conductores</b>           | Personas que conducen los vehículos.                                     |
| <b>Semáforos</b>             | Aparatos que controlan el flujo vehicular y peatonal.                    |
| <b>Policía</b>               | Persona que controla el flujo vehicular y peatonal.                      |
| <b>Señales de tránsito</b>   | Señalizaciones que alertan el desempeño de los vehículos y los peatones. |
| <b>Luminarias</b>            | Luces que iluminan la intersección.                                      |
| <b>Alcantarillado</b>        | Alcantarillas presentes en las vías.                                     |
| <b>Aceras</b>                | Lugares que bordean las vías.  |
| <b>Locales comerciales</b>   | Locales dedicados al comercio ubicados en el área.                       |
| <b>Vendedores ambulantes</b> | Personas que laboran alrededor de la vía                                 |

**Atributos del Sistema:**

| Entidad         | Atributos               | Descripción   |
|-----------------|-------------------------|---|
| <b>Carriles</b> | Tipo de carril          | Para continuar o doblar.  |
|                 | Longitud                | Cantidad de espacios simples para vehículos.                        |
|                 | Condición               | Si son aptas o no para el tránsito.                                 |
| <b>Peatones</b> | Edad                    | Edad lógica de los peatones.  |
|                 | Condición física        | Si son buenas o malas para el tránsito peatonal.                    |
|                 | Sexo                    | Si es hombre o mujer.   |
|                 | Condiciones Físicas     | Si son buenas o malas.  |
|                 | Condición emocional     | Si está preocupado, pensativo, etc. Implica nivel de concentración. |
|                 | Nivel de educación vial | Si conoce bien las reglas de tránsito.                              |
|                 | Responsabilidad         | Si es responsable al transitar por las calles.                      |
|                 | Impedimentos físicos    | Si posee algún impedimento que minimice su capacidad al transitar.  |
|                 | Estatus                 | Nivel económico del individuo                                       |
|                 |                         |   |

|                            |                             |  |
|----------------------------|-----------------------------|--|
| <b>Vehículos</b>           | Tamaño                      | Tamaño del vehículo (grande o chico).                    |
|                            | Color                       | Color del vehículo.                                      |
|                            | Tipo                        | Tipo (coche, moto, camión, bus, ambulancia, etc.)        |
|                            | Modelo                      | Marca del vehículo                                       |
|                            | Uso                         | Tipo de transporte (comercial, personal, publico)        |
| <b>Conductores</b>         | Edad                        | Edad lógica de los conductores                           |
|                            | Sexo                        | Si es hombre o mujer.                                    |
|                            | Condición física            | Si está en buenas condiciones físicas para conducir.     |
|                            | Condición emocional         | Si tiene algún problema que lo perturbe o no.            |
|                            | Nivel de educación vial     | Si conoce bien las reglas de tránsito.                   |
|                            | Nacionalidad                | Extranjero, residente                                    |
|                            | Tipo de licencia            | Comercial, normal  |
|                            | Responsabilidad             | Si es responsable en el manejo.                          |
|                            | Status                      | Nivel económico del individuo                            |
| <b>Semáforos</b>           | Color                       | Color de los semáforos.                                  |
|                            | Estado o Condición          | Si están en buenas condiciones o deteriorados.           |
|                            | Número de vías que controla | Cantidad de vías a las cuales sirve.                     |
|                            | Tiempo entre luces          | Tiempo de cambio de rojo a verde a amarillo.             |
| <b>Policía</b>             | Edad                        | Edad lógica del policía de tránsito.                     |
|                            | Sexo                        | Si es hombre o mujer.                                    |
|                            | Preparación                 | Si está preparado para el desempeño de su trabajo.       |
|                            | Condición emocional         | Si algo lo perturba o no.                                |
|                            | Condición física            | Si presenta buena condición física para su trabajo o no. |
|                            | Estatus                     | Nivel económico del individuo                            |
| <b>Señales de tránsito</b> | Tipo                        | Clase de señal de tránsito. (vehículo, peatonal).        |
|                            | Estado o condición          | Grado de deterioro o conservación de las señales.        |
| <b>Luminarias</b>          | Estado                      | Encendido o apagado                                      |
|                            | Condición                   | Grado de deterioro o conservación de las mismas.         |

|                              |                      |   |
|------------------------------|----------------------|---|
|                              | Intensidad de la luz | Si es bueno, malo, regular, para el tránsito.                 |
| <b>Alcantarillado</b>        | Condición            | En qué condiciones se encuentra                               |
|                              | Ubicación            | Dónde está ubicada  |
|                              | Tamaño               | Qué tamaño tiene  |
| <b>Aceras</b>                | Dimensión            | Tamaño de la acera  |
|                              | Condición            | En que condición se encuentra.                                |
| <b>Locales comerciales</b>   | Cantidad             | Número de locales comerciales en el área.                     |
|                              | Tamaño               | Tamaño físico de los mismos.                                  |
|                              | Tipo                 | Tipo de local comercial. (tienda, estación de gasolina, etc.) |
|                              | Ubicación            | Lugar físico en que se encuentra.                             |
| <b>Vendedores ambulantes</b> | Sexo                 | Si es hombre o mujer  |
|                              | Edad                 | Edad lógica del vendedor                                      |
|                              | Nivel educativo      | Preparación académica   |
|                              | Condición emocional  | Si presenta algún problema psicológico.                       |
|                              | Nacionalidad         | Residente, extranjero   |
|                              | Condición física     | Estado para desempeñar su labor                               |
|                              | Estatus              | Nivel en que se encuentra económicamente                      |

### Actividades del Sistema:

| Entidad                      | Actividad  |
|------------------------------|--|
| <b>Vehículo</b>              | Transportar personas, objetos.   |
| <b>Peatones</b>              | Utilizar las vías de acceso para su transporte.  |
| <b>Semáforo</b>              | Controlar el tráfico de vehículos, controlar el tráfico de peatones, Controlar accidentes.               |
| <b>Señales de tránsito</b>   | Indicar la zona para el flujo de tránsito, para los peatones.<br>Indicar las direcciones hacia las vías. |
| <b>Vendedores ambulantes</b> | Comercializar sus productos en las vías.   |
| <b>Policía de Tránsito</b>   | Controlar el flujo de tráfico, Controlar el flujo de peatones, Resolver problemas de accidentes.         |
| <b>Conductor</b>             | Manejar en las diferentes vías.  |
| <b>Luminarias</b>            | Ofrecer la cantidad de luz necesaria para transitar por la vía.  |
| <b>Aceras</b>                | Proporcionar espacio para los peatones.  |
| <b>Carriles</b>              | Proporcionar espacio para los vehículos.   |
| <b>Locales comerciales</b>   | Comercializar productos.   |



**Relaciones del sistema:**

- conductor - vehículo - carril - vendedor ambulante
- policía - vehículo - conductor - peatón
- semáforos - vehículos - conductor - peatón - carril- vendedores ambulantes
- señales de tránsito - conductor - vehículo
- señales de tránsito - peatón
- alcantarillado - carril - acera
- luminarias - vehículo - conductor - peatón
- locales comerciales - peatones
- locales comerciales - conductor - vehículo
- peatón - acera
- luminarias -peatones- vehículo

**Estados del Sistema:**

- Situación normal1 (luz verde en la avenida X y la luz roja en la calle Y)
- Situación normal2 (luz roja en la avenida X y la luz verde en la calle Y)
- Luces intermitentes en ambas calles
- Accidentes en la vía
- inundación

**Perturbaciones del Sistema:**

- Accidentes
- Vehículos dañados
- Inundación
- Mal funcionamiento del semáforo
- Falta de fluido eléctrico
- Retén policial
- Hombres trabajando en algún tipo de reparación
- Huelgas
- Tránsito de una Ambulancia
- Terremoto
- Reparación

**Cambios del Sistema:**

- De situación normal (1 o 2) a inundación
- De situación normal (1 o 2) a accidentes en la vía

### 1.13 Ejemplo de Teoría de Colas

#### Sistema de Venta de Boletos en el Cine ABC

##### Descripción del Sistema

El sistema consiste en el estudio de la cola de servicio de una de las taquillas del cine ABC, el cine cuenta con seis salas de exhibición. El sistema comienza a partir de que el cliente decide qué película va a ver, y entra a formar parte de la cola de compra de boletos en la taquilla. Dentro del ambiente de la taquilla, existen una serie de elementos (entidades) los cuales son beneficiosos para que el público pueda decidirse por una película en especial. Cuando el cliente ya ha decidido qué película quiere ver, llega a la ventanilla de la taquilla y pide el boleto de la película en su respectiva tanda u hora. La persona que atiende en la taquilla registra en la computadora el cliente (para llevar un control de la cantidad de personas en la sala) espera que la impresora deje impreso en el papel la tanda de la película, y recibe el dinero de los clientes.

Sin embargo, como caso peculiar vemos que muchas veces, en especial los días de estreno de películas, los clientes después de hacer largas colas de espera no pueden adquirir su boleto debido a que cuando les llega el turno de pedir su boleto; la cajera les informa que están agotados los asientos dentro de la sala del cine.

##### Enfoque del Sistema en Movimiento:

- El cliente llega al cine y observa su cartelera de películas (\*).
- El cliente se incorpora a la cola de taquilla de boletos.
- El cliente solicita su boleto para la película deseada.
- Se le entrega el boleto.
- Boletos agotados.
- La cajera resta una o varias sillas dentro de la base de datos de la sala.
- La cajera registra el pago del cliente.
- Se imprime el boleto de la tanda.
- La cajera le entrega el boleto al cliente.
- El cliente sale de la cola.
- Opcional: Muchas veces el cliente hace la fila mientras observa los carteles cinematográficos.

## Enfoque del Sistema en Reposo

El sistema está en reposo cuando no es hora de alguna tanda, cuando se ha ido la luz, cuando la red de computadoras está fuera de línea, cuando se le está cambiando la cinta a la caja registradora, cuando el papel que se utiliza para la impresión de los boletos esté agostado, cuando no haya más sillas dentro de la sala. El sistema estará en reposo, además, cuando por motivos de huelga o causas ajenas a la empresa tengan que permanecer cerrados.

## Propuesta

El sistema presenta ciertas fronteras, las cuales son importantes señalar: no se toma en cuenta a las personas que están fuera de las instalaciones del cine y que en un momento dado solamente están observando las carteleras cinematográficas. Otra frontera sería el hecho de que existan clientes que deseen saber si existen puestos contiguos y (vayan en grupo, por ejemplo) quieran sentarse de forma contigua (en la misma fila) no se tendrá información al respecto.

La hipótesis para este sistema es la mejora o implementación de un cambio en la cantidad de personas que atienden a los clientes en el momento de venta de boletos. Se Cree que se hará necesario, para incrementar la efectividad del servicio de venta.



**Definición de las Variables de la Tabla**

| <b>Variable</b>            | <b>Definición</b>  |
|----------------------------|--|
| Cliente                    | Número de cliente en ser atendido (cliente número uno, cliente número dos, etc.).  |
| T. Arribo (te)             | Es el tiempo entre arribo de cada cliente al sistema.  |
| T. Servicio (ts)           | Intervalo de tiempo desde que el cliente se le comienza a atender hasta que termina la atención.                                     |
| H. Arribo                  | Hora en que el cliente llega al sistema.   |
| Inicio                     | Es el tiempo en que el cliente comienza a ser atendido.  |
| Final                      | Tiempo en que finaliza la atención al cliente.   |
| T. Espera en Cola (Wq)     | Intervalo de tiempo que el cliente espera en cola para ser atendido.   |
| T. Espera Total (W)        | Tiempo total que espera el cliente desde que llega al sistema hasta que sale.  |
| Serv. Ocioso               | Es el tiempo que permanece el servidor sin atender a ningún cliente.   |
| Cola (Lq)                  | Número de personas que se encuentran formando parte de la cola.  |
| Personas en el sistema (L) | Total de personas que se encuentran formando parte del sistema, los que se encuentran en la cola más los que están siendo atendidos. |

**Cálculo de Tasa de Llegada ( $\lambda$ ) y Tasa de Servicio ( $\mu$ )**

$\lambda$ : Tasa de llegada de clientes. Rata de arribo de clientes. Promedio de llegadas de clientes en una unidad de tiempo.

$\mu$ : Tasa de servicio a los clientes. Rata de servicio a los clientes. Promedio de servicios prestados a clientes en una unidad de tiempo por canal.

$$\lambda = \frac{1}{\Sigma Lq / \text{número de casos}} = 0.513$$

$$\mu = \frac{1}{\Sigma Wq / \text{número de casos}} = 0.018$$

**Tabla de Análisis de la Cola:**

| Cliente | Tiempo entre Arribo | Tiempo Servicio | H. Arribo | Inicio | Final | Tiempo Espera en Cola | Tiempo Espera Total | Servidor Ocioso | Cola | Personas en el sistema |
|---------|---------------------|-----------------|-----------|--------|-------|-----------------------|---------------------|-----------------|------|------------------------|
| 1       | 143                 | 22              | 143       | 143    | 165   | 0                     | 22                  | 143             | 0    | 1                      |
| 2       | 27                  | 33              | 170       | 170    | 203   | 0                     | 33                  | 5               | 0    | 0                      |
| 3       | 33                  | 38              | 203       | 203    | 241   | 0                     | 38                  | 0               | 1    | 2                      |
| 4       | 6                   | 39              | 209       | 241    | 280   | 32                    | 71                  | 0               | 1    | 2                      |
| 5       | 0                   | 22              | 209       | 280    | 302   | 71                    | 93                  | 0               | 2    | 3                      |
| 6       | 46                  | 98              | 255       | 302    | 400   | 47                    | 145                 | 0               | 2    | 3                      |
| 7       | 106                 | 19              | 361       | 400    | 419   | 39                    | 58                  | 0               | 1    | 2                      |
| 8       | 95                  | 2               | 456       | 456    | 458   | 0                     | 2                   | 37              | 0    | 0                      |
| 9       | 13                  | 20              | 469       | 469    | 489   | 0                     | 20                  | 11              | 0    | 0                      |
| 10      | 0                   | 38              | 469       | 489    | 527   | 20                    | 58                  | 0               | 1    | 2                      |
| 11      | 59                  | 6               | 528       | 528    | 534   | 0                     | 6                   | 1               | 0    | 0                      |
| 12      | 24                  | 21              | 552       | 552    | 573   | 0                     | 21                  | 18              | 0    | 0                      |
| 13      | 42                  | 38              | 594       | 594    | 632   | 0                     | 38                  | 21              | 0    | 0                      |
| 14      | 103                 | 28              | 697       | 697    | 725   | 0                     | 28                  | 65              | 0    | 0                      |
| 15      | 36                  | 31              | 733       | 733    | 764   | 0                     | 31                  | 8               | 0    | 0                      |
| 16      | 23                  | 17              | 756       | 764    | 781   | 8                     | 25                  | 0               | 1    | 2                      |
| 17      | 10                  | 38              | 766       | 781    | 819   | 15                    | 53                  | 0               | 1    | 2                      |
| 18      | 8                   | 13              | 774       | 819    | 832   | 45                    | 58                  | 0               | 2    | 3                      |
| 19      | 39                  | 18              | 813       | 832    | 850   | 19                    | 37                  | 0               | 2    | 3                      |
| 20      | 54                  | 16              | 867       | 867    | 883   | 0                     | 16                  | 17              | 0    | 0                      |
| 21      | 7                   | 22              | 874       | 883    | 905   | 9                     | 31                  | 0               | 1    | 2                      |
| 22      | 3                   | 24              | 877       | 905    | 929   | 28                    | 52                  | 0               | 2    | 3                      |
| 23      | 17                  | 22              | 894       | 929    | 951   | 35                    | 57                  | 0               | 2    | 3                      |
| 24      | 79                  | 33              | 973       | 973    | 1006  | 0                     | 33                  | 22              | 0    | 0                      |
| 25      | 110                 | 22              | 1083      | 1083   | 1105  | 0                     | 22                  | 77              | 0    | 0                      |
| 26      | 43                  | 12              | 1126      | 1126   | 1138  | 0                     | 12                  | 21              | 0    | 0                      |
| 27      | 114                 | 183             | 1240      | 1240   | 1423  | 0                     | 183                 | 102             | 0    | 0                      |
| 28      | 560                 | 64              | 1800      | 1800   | 1864  | 0                     | 64                  | 377             | 0    | 0                      |
| 29      | 69                  | 60              | 1869      | 1869   | 1929  | 0                     | 60                  | 5               | 0    | 0                      |
| 30      | 135                 | 5               | 2004      | 2004   | 2009  | 0                     | 5                   | 75              | 0    | 0                      |
| 31      | 47                  | 16              | 2051      | 2051   | 2067  | 0                     | 16                  | 42              | 0    | 0                      |
| 32      | 198                 | 93              | 2249      | 2249   | 2342  | 0                     | 93                  | 182             | 0    | 0                      |
| 33      | 82                  | 38              | 2331      | 2342   | 2380  | 11                    | 49                  | 0               | 1    | 2                      |
| 34      | 71                  | 121             | 2402      | 2402   | 2523  | 0                     | 121                 | 22              | 0    | 0                      |
| 35      | 236                 | 77              | 2638      | 2638   | 2715  | 0                     | 77                  | 115             | 0    | 0                      |
| 36      | 120                 | 18              | 2758      | 2758   | 2776  | 0                     | 18                  | 43              | 0    | 0                      |
| 37      | 36                  | 20              | 2794      | 2794   | 2814  | 0                     | 20                  | 18              | 0    | 0                      |



## 1.14 Resumen

En este capítulo se introdujeron los términos más utilizados en la simulación, comenzando con la definición de sistemas: **conjunto o agregado de entidades relacionadas por algún objetivo**. Es importante mencionar las características de los sistemas ya que nos permiten realizar descripciones adecuadas de algún estudio, estas características son: entidad, atributos, actividad y estados.

Se presentaron los sistemas complejos, en los cuales un cambio en una de sus variables provoca cambios en todas las demás y sus características son: comportamiento contradictorio, tendencia a bajar el rendimiento, interdependencia y organización.

La descripción de un sistema se puede dar en una representación estática o en una representación dinámica.

Dentro de la clasificación de sistema se mencionaron: los sistemas continuos versus discretos, sistemas estocásticos versus determinísticos y los sistemas abiertos versus cerrados.

La definición de simulación utilizada en este capítulo es la siguiente: Técnicas numéricas para conducir experimentos en una computadora, las cuales requieren ciertos tipos de modelos matemáticos que describen el comportamiento de un sistema (o parte de él) en períodos cortos o extensos de tiempo real.

La simulación nos puede ayudar en el estudio de diversos sistemas. Estos sistemas pueden ser, por ejemplo, el sistema de transporte (aéreo, terrestre o marítimo), sistemas económicos, sistemas ecológicos, estrategias para planear un ataque o invasión, entre otros.

Siendo la simulación una técnica, tiene como objetivo observar cómo cambian las variables de un determinado modelo a través del tiempo. Los estudios realizados a los sistemas pueden ser de tres tipos: análisis del sistema, diseño del sistema y postulaciones del sistema.

Como toda técnica, la simulación tiene sus ventajas y sus desventajas. Entre sus ventajas más importantes podemos mencionar: Permite realizar experimentos en forma controlada, reduce el tiempo necesario de un experimento, no afecta al sistema real en estudio y dentro de sus desventajas podemos decir que algunos parámetros del modelo son difíciles de evaluar o inicializar, es difícil mantener las mismas condiciones de operación para cada vez que se realiza una nueva corrida.

Se presentan los tipos básicos de simulación, los cuales tienen sus características marcadas, la simulación por identidad la cual permite tomar un sistema mismo como modelo, la simulación por cuasi-identidad que excluye elementos como personas, computadoras y demás. También se incluyen las técnicas de simulación ya sea utilizando computadoras análogas, digitales o híbridas (que es una combinación de las dos anteriores).

La simulación análoga consiste en resolver una ecuación diferencial de alto orden. La simulación por computadora digital consiste en la aplicación de procedimientos de integración numérica para evaluar la respuesta en el tiempo de una ecuación diferencial dada.

Integrado a lo mencionado anteriormente, se plantean varias razones que justifican el uso de la simulación; ya que la misma es útil cuando se dificulta o se imposibilita la resolución del modelo analítico o numérico requerido en un determinado problema.

Por un lado, permite estudiar el sistema real sin deformarlo. Los modelos analíticos o numéricos requieren la simplificación del sistema real de estudio, a fin de que se apegue a las condiciones que fundamentan la teoría del modelo en uso; por esto, finalmente muchos modelos analíticos y numéricos resuelven un sistema deformado muy lejano al sistema real bajo estudio.

Los procesos de simulación son herramientas muy efectivas de entrenamiento de personal y generan una visión macro y micro del sistema bajo estudios mucho más profundos y detallados que cualquier modelo analítico o numérico.

Sin embargo, los procesos de simulación no producen resultados óptimos, sino simplemente buenos. Son procesos muy costosos en cuanto al requerimiento de tiempo de computadoras, necesitan por lo general de equipo electrónico sofisticado, se consume mucho tiempo en el diseño, prueba y verificación de un modelo de simulación y se requiere de estudios de campos intensivos para familiarizarse con el sistema real de estudio.

## 1.15 Conclusiones

En este capítulo encontramos material que nos ayuda a comprender mejor la simulación ya que es una breve introducción a la simulación.

Es importante el mencionar que la simulación de sistemas también cuenta con una metodología ya que como anteriormente mencione la simulación es organizada y para llegar a simular debemos seguir una serie de pasos que sin los cuales no podríamos lograr la simulación de sistemas.

Dentro de este material nos explica muy bien lo que es los componentes, diferentes ejemplos de sistemas, los diferentes tipos de simulación, etc.

El tipo comportamiento de las variables determinan el comportamiento del sistema.

Los modelos se construyen para entender la realidad.

Los modelos de simulación hacen uso intensivo del computador.

Una de las cosas más importantes es reconocer bien las entidades de un sistema y de ahí los atributos, actividades, eventos y demás.

De esta manera podemos ver que la simulación es una herramienta de mucha importancia en la vida cotidiana y no debe quedarse solo entre cuatro paredes dentro de un salón de clases y es por ello por lo que estamos conociendo más sobre ella para poder de esta manera aplicarla aún más con mayor seguridad, pues la única manera de confiar en algo es conociéndolo.

Al conocer nosotros nuestro sistema es mucho más fácil trabajar el modelo deseado.

Una de las cosas más importante es conocer bien nuestras entidades, atributos, actividades y demás.



## 1.16 Bibliografía

Biblioteca Salvat de Grandes Temas, “La Contaminación”, Salvat Editores, Barcelona, 1973.

Cass Bu Raúl, “Simulación: Un Enfoque Práctico”, Editorial Limusa, México, D.F., 1985.

Enciclopedia de la Electrónica, Ingeniería y Técnica, Tomo 5, Ediciones Centrum Técnicas y Científicas, España, 1990.

Fishman George S., “Conceptos y Métodos en la Simulación Digital de Eventos Discretos”, Editorial Limusa, México D.F., 1978.

Gordon Geoffrey, “Simulación de Sistemas”, Prentice-Hall, 1980.

Guzmán Bravo José Antonio, “Simulacrum”, Editorial Pomaire, Barcelona, España, 1978.

Ingenieros José, “La Simulación en la Lucha por la Vida”, Editorial TOR-S, R.L.

Kornecki Andrew J., “All For Our Traffic”, IEEE Potentials, August-September 1994, pp. 11-14.

Naylor Thomas, Balinfy Joseph, Burdick Donald, Chu Kong, “Técnicas de Simulación en Computadoras”, Editorial Limusa, México D.F., 1971.

Perry Tekla S., “Modeling The World’s Climate”, IEEE Spectrum, July 1993, pp. 33-42.

Raczynski Stanislaw, “Simulación por Computadora”, Editorial Limusa, México D.F., 1993.

Shannon Robert E., “Simulación de Sistemas: Diseño, Desarrollo e Implementación”, Editorial Trillas, México, D.F., 1988.

Educación a Distancia, 2013. ProQuest Ebrary. Web. 16 November 2014.  
Copyright © 2013. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. All rights reserved.

Márquez Díaz, José, Sanmartín Mendoza, Paul, and David Céspedes, Josheff. Modelado y simulación de redes de computadores: aplicación de Qoscon opnet modeler. Colombia: Universidad del Norte, 2013. ProQuest Ebrary. Web. 16 November 2014.  
Copyright © 2013. Universidad del Norte. All rights reserved.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Computadora\\_h%C3%ADbrida](http://es.wikipedia.org/wiki/Computadora_h%C3%ADbrida)

[http://2.bp.blogspot.com/\\_s1xbgJUTibY/R8DceCiH7GI/AAAAAAAAAn4/5dO9nHVCZM8/s320/profesor.gif](http://2.bp.blogspot.com/_s1xbgJUTibY/R8DceCiH7GI/AAAAAAAAAn4/5dO9nHVCZM8/s320/profesor.gif)

