

1. Introducción a la simulación.

El verbo simular cada vez toma mayor auge en diversas disciplinas científicas, para describir el viejo arte de la construcción de modelos. Aun cuando esta palabra se aplica a diversas formas de construcción de modelos, tales como: Los de la escultura y pintura del Renacimiento; Los modelos a escala de aviones; Los modelos en computadora de los procesos cognoscitivos, e incluso en las ciencias físicas y en las del comportamiento.

Su empleo moderno se remonta hacia fines de 1940, cuando Von Neumann y Ulam acuñaron el término “análisis de Monte Carlo” para aplicarlo a una técnica matemática que usaban entonces en la resolución de ciertos problemas de protección nuclear que eran, o demasiado costosos para resolverse experimentalmente o de enorme complejidad para un tratamiento analítico.

El análisis de Monte Carlo involucra la solución de un problema matemático no probabilístico, mediante la simulación de un proceso estocástico cuyos momentos o distribuciones de probabilidad satisfacen las relaciones matemáticas del problema no probabilístico.

Con la llegada de computadoras de gran velocidad, la simulación tomó otro significado aún, al surgir la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos (que describen algún sistema de interés) en la computadora. Por vez primera, los sociólogos al igual que los físicos encontraron que podrían realizar experimentos controlados de laboratorio.

Al simular en computadoras, surgieron innumerables aplicaciones y con ello, un número mayor de problemas teóricos y prácticos.

Desgraciadamente, no existe acuerdo respecto a una definición precisa de la palabra simulación, la propuesta por *C. West Churchman*¹ es estrictamente formal:

“ X simula a Y ” sí y solo sí:

- a) X e Y son sistemas formales.
- b) Y se considera como sistema real
- c) X se toma como una aproximación del sistema real
- d) Las reglas de validez en x no están exentas de error.

La definición de *Shubik*² es la definición típica entre las más populares:

Simulación de un sistema (o un organismo) es la operación de un modelo (simulador), el cual es una representación del sistema. Este modelo puede sujetarse a manipulaciones que serían imposibles de realizar, demasiado costosas o imprácticas.

La operación de un modelo puede estudiarse y con ello, inferirse las propiedades concernientes al comportamiento del sistema o subsistema real.

En tanto, *Roger Schroeder* planteaba: *La simulación es una técnica que puede utilizarse para resolver una amplia gama de modelos.* Su aplicación es tan amplia que se ha dicho: “Cuando todo falle, utilice simulación”.

La simulación es, esencialmente, una técnica que enseña a construir el modelo de una situación real aunada a la realización de experimentos con el modelo.

Definición bastante amplia, que puede comprender situaciones aparentemente no relacionadas entre sí, como los simuladores de vuelo, juegos militares, juegos de gerencia, modelos físicos de ríos, modelos econométricos, etc., desde la perspectiva de la ingeniería, nos interesa una definición más restringida, solamente a experimentos con modelos lógicos o matemáticos, pero además, no nos interesan aquellos experimentos como los de microeconomía, que ocurren bajo condiciones dadas de equilibrio estático y producen soluciones completamente determinísticas. Por el contrario estamos interesados en experimentos que ocurren en períodos extensos de

tiempo, bajo condiciones estocásticas o dinámicas y cuyas soluciones por métodos estrictamente analíticos, no son necesariamente del todo determinísticas.

En consecuencia, bajo estas restricciones, la definición que plantea *Thomas Naylor*³ es bastante adecuada:

Simulación, es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, las cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en períodos extensos de tiempo real

.

Dos variantes importantes son:

- a) Los juegos operacionales, referidos a simulaciones que se caracterizan por alguna forma de interés en conflicto entre los jugadores o los seres humanos que toman decisiones dentro del marco de referencia del medio ambiente simulado. Todos ellos actúan dentro del medio ambiente simulado y el experimentado; al observarlo, tiene la capacidad de probar hipótesis relativas al comportamiento de los individuos o inclusive, al del sistema completo de decisiones. Las dos formas más ampliamente empleadas son los juegos militares y los juegos de gerencia.
 - ① Los juegos militares corresponden a un instrumento para entrenar dirigentes militares, que permiten probar los efectos de las estrategias alternativas bajo condiciones simuladas de guerra.
 - ② Los juegos de gerencia⁴ corresponden a un tipo de instrumento educativo para el entrenamiento de directores de empresas, ya sea en ejercicio presente o futuro.

b) El análisis de Monte Carlo es una técnica de simulación para problemas que tienen una base estocástica o probabilística. Existen dos tipos de problemas que dan pie al empleo de esta técnica:

❶ Aquellos problemas que implican algún tipo de proceso estocástico, como la demanda del consumidor y la prioridad en la producción e inversión total para la economía, son ejemplos de variables económicas que se pueden considerar estocásticas por naturaleza. Se han desarrollado métodos de Monte Carlo para simular la mayoría de las distribuciones de probabilidad más conocidas, o cualquier distribución empírica.

❷ Ciertos problemas matemáticos completamente determinísticos, que no pueden resolverse fácilmente (sí es que admiten solución) por métodos estrictamente determinísticos.

Sin embargo, cabe la posibilidad de obtener soluciones aproximadas a estos problemas, simulando un proceso estocástico, cuyos momentos, funciones de densidad o de distribución acumuladas, satisfagan las relaciones funcionales o los requisitos relativos a la solución del problema determinístico. Las soluciones a ecuaciones de diferencias de orden superior (mayores que dos) y los problemas de integración múltiple, pueden obtenerse a menudo mediante este método de análisis numérico, más rápidamente que con cualquier otro.

1.1 Fundamentos racionales de la simulación.

El fundamento racional para utilizar la simulación en cualquier disciplina es la constante búsqueda del hombre por adquirir conocimientos relativos a la predicción del futuro. Tal búsqueda es tan antigua como la historia de la humanidad; antes del siglo XVII, esa indagación estaba casi limitada a

métodos puramente deductivos de los filósofos como Platón, Aristóteles, Euclides y otros. Hans Reichenbach, en una apreciación crítica de la metodología de estos filósofos, denominó filosofía especulativa a la búsqueda del conocimiento predictivo.

La filosofía especulativa pretendió dar un conocimiento de los principios más generales que gobiernan el universo. Es así como fue encauzada a la construcción de sistemas filosóficos con capítulos que hoy debemos considerar como simples intentos a una física comprensiva, en la cual la función de la explicación científica se alcanzaba por simples analogías con las experiencias de la vida cotidiana. Se pretendió dar una explicación del método de conocimiento, mediante un uso similar de analogías; las preguntas de la teoría del conocimiento se contestaban en términos de un lenguaje iconográfico, en lugar de un análisis lógico⁵.

Sin embargo en 1620 Sir *Francis Bacon* se convirtió en el primero de los filósofos que reconocían las limitaciones de la filosofía especulativa como una metodología para predecir el futuro; en su libro *Novum Organum* planteó sus discrepancias.

Bacon se dio cuenta que la razón en sí no tiene ninguna capacidad de pronóstico, sino solamente cuando va sumada a la observación. Los métodos predictivos de la razón están contenidos en las operaciones lógicas mediante las cuales construimos un orden en el material observado y derivamos conclusiones. Alcanzamos predicciones a través del instrumento de la derivación lógica. Además reconoció que sí la derivación lógica sirve a los propósitos predictivos, no puede ser restringida a la *lógica deductiva*; debe incluir los métodos de la *lógica inductiva*.

Ciertamente Bacon fue el padre de la filosofía científica actual o el método científico, como se denomina frecuentemente, consiste en cuatro pasos bien conocidos:

1. Observación de un sistema físico.
2. Formulación de una hipótesis (en nuestro caso un modelo matemático) que intente explicar las observaciones realizadas al sistema.
3. Predecir el comportamiento del sistema con base en la hipótesis formulada mediante el uso de la deducción lógica o matemática, esto es, por la obtención de soluciones del modelo o modelos matemáticos.
4. Realización de experimentos para probar la validez de las hipótesis o del modelo matemático.

La importancia de los modelos y su construcción como parte integrante de la investigación científica, ha sido expuesta de forma muy sucinta por *Rosenblueth y Wiener*: “*Ninguna parte del universo es tan simple como para comprenderse sí abstracción*”.

La abstracción consiste en reemplazar la parte del universo bajo análisis, por un modelo de estructura similar, pero más sencillo. Los modelos constituyen entonces una necesidad central del procedimiento científico.

Se puede definir un Modelo como una abstracción de algún sistema real, que tiene la posibilidad de emplearse para propósitos de predicción y control.

El objeto del método científico es permitir al analista la determinación de uno o más cambios en los aspectos del sistema modelado que afectan otros aspectos del sistema o incluso la totalidad del sistema.

¿Por qué reiterar los rasgos más importantes del método científico?, La razón es que en ocasiones no resulta recomendable seguir los cuatro pasos

anteriormente descritos en un problema o sistema particular, en estos casos alguna forma de simulación puede considerarse, como sustituto satisfactorio a los pasos.



En ocasiones, puede ser imposible o extremadamente costoso observar ciertos procesos en el mundo real. Por ejemplo previo a lo primeros vuelos tripulados realizados por los Estados Unidos o la Unión Soviética, la NASA no tenía información de los efectos que tales vuelos tendrían sobre los seres humanos, pues nadie lo había experimentado antes.

Era claro que una alternativa para obtener dicha información inicial acerca de los vuelos espaciales en los seres humanos, era la realización de un gran número de vuelos experimentales usando pilotos de prueba. Este método fue rechazado debido al alto valor que se da a la vida humana. Sin embargo, la NASA implantó con éxito un método: la simulación en computadora de los vuelos y sus efectos en los pilotos de prueba. Es así como cada vuelo orbital logrado por la NASA ha sido precedido por una experimentación durante meses y años, con vuelos simulados.

Otros ejemplos de procesos en los que puede ser imposible o muy oneroso obtener los datos, pueden ser: el reporte de ventas de una empresa para el año siguiente; el producto geográfico bruto de un país en los próximos cinco años; los efectos de una campaña publicitaria en las ventas totales de una empresa. En todos estos casos la simulación puede ser empleada como medio efectivo para generar datos numéricos que describen procesos que de otra manera implicaría un elevado costo en proporcionar a información.

En segundo lugar, el sistema observado puede ser tan complejo que sea imposible describirlo en términos de un sistema de ecuaciones matemáticas, del cual se puedan tener soluciones analíticas para ser usadas con propósitos predictivos. Aún cuando un modelo matemático logre formularse para describir algún sistema de interés, es posible no obtener una solución del modelo por medio de técnicas analíticas directas. La mayoría de los sistemas económicos se encuentran en esta categoría.

También, puede ser costoso u imposible realizar experimentos de validación en determinados modelos matemáticos.

Se ha constatado que la simulación constituye un instrumento extremadamente efectivo para trabajar con problemas de este tipo. Otro tipo de problemas que presentan dificultades semejantes son los fenómenos de espera en gran escala, aquellos que implican canales múltiples, sean ellos en serie y/o en paralelo.

Razones par considerar la simulación:

- Una de las principales razones para escoger la simulación computacional es la dificultad para vencer los obstáculos de implantar el método científico.
- La simulación hace posible estudiar y experimentar complejas interacciones que ocurren al interior de un sistema dado, ya sea una empresa, industria o subsistema de cualquiera de ellos.

- La información detallada del sistema que se está simulando conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.
- Mediante su empleo se adquiere experiencia que puede ser más valiosa que la simulación en sí misma.
- Puede emplearse para verificar soluciones analíticas.
- Ella convierte a especialistas en profesionales generalistas. Motivado por el enfoque sistémico..

Mediante la simulación se puede estudiar los efectos de determinados cambios informativos, de organización, y ambientales, en la operación de un sistema, al hacer alteraciones en su modelo y observar los efectos de estos en el comportamiento del sistema.

La observación detallada del sistema que se está simulando, conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo, que de otra manera no podrían obtenerse.

La simulación puede servir como prueba de pre servicio para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema.

1.2 Elementos de los modelos matemáticos de sistemas económicos.

- a) Los componentes: Los que tienen tendencia a variar ampliamente.
- b) Parámetros.
- c) Relaciones funcionales. Ellas describen las interacciones de las variables:

- 1.2.1 Las identidades: toman la forma de definiciones o declaraciones tautológicas, relativas al comportamiento del sistema. Ejemplo definición de utilidad, definición de activo, pasivo, capital.
- 1.2.2 Características de operación: es una hipótesis, generalmente una ecuación matemática, que relaciona las variables endógenas y de estado del sistema, con sus las variables exógenas. Ejemplo: funciones de consumo o inversión en una economía.
- 1.2.3 Las variables: Empleadas para relacionar un componente con otro y se clasifican en:
- 1.2.4 Variables exógenas: son independientes, denominadas de entrada del modelo y se supone que han sido predeterminadas y proporcionadas independiente del sistema a modelar. Puede considerarse que estas variables actúan sobre el sistema, pero no reciben acción alguna de parte de él. También se denominan factores, pueden emplearse de dos formas diferentes en los experimentos de decisiones:
- Tratadas como parámetros dados(determinados ya sea por el medio ambiente o por los que toman las decisiones, las cuales deben estimarse y almacenarse en la computadora como datos de entrada.
 - Generarlas internamente en la computadora si corresponden a variables estocásticas.
- 1.2.5 Variables endógenas: Son las dependientes o de salida del sistema y son generadas por la interacción de las variables exógenas con las de estado, de acuerdo con las características de operación del último.

1.2.6 Variables de estado: Describen el estado de un sistema o de uno de sus componentes, ya sea al comienzo, al final o durante un periodo de tiempo. Estas variables interactúan con las exógenas y las endógenas del sistema, de acuerdo a las relaciones funcionales dispuestas. El valor que tome durante un periodo particular de tiempo, puede depender no solo de una o más variables exógenas en determinado periodo precedente, sino además del valor de ciertas variables endógenas de periodos anteriores.

En consecuencia, un experimento de simulación en computadora consiste en una serie de corridas en el equipo, en las cuales probamos empíricamente empujando datos de simulación, los efectos de los factores sobre los valores de nuestras variables endógenas.

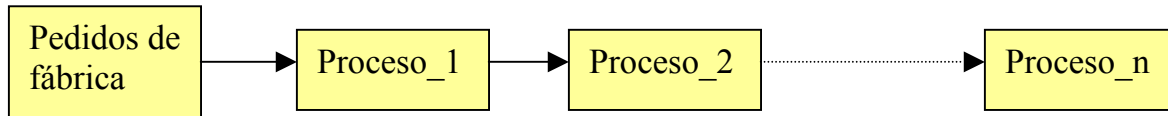
Una característica de operación es una hipótesis, generalmente una ecuación matemática que relaciona las variables endógenas y el estado de un sistema, con sus variables exógenas.

Las características de operación aplicadas a procesos estocásticos toman la forma de funciones de densidad de probabilidad. Al contrario de los componentes y variables que observaríamos directamente en un sistema real, los parámetros de las características de operación los derivamos solamente sobre la base de inferencias estadísticas.

Ejemplo N°1 Modelo simple de un fenómeno de espera con un solo canal y con múltiples estaciones para una empresa.



Los componentes de este modelo se ilustran en la figura siguiente, consisten de órdenes que llegan a la empresa y procesos a través de los cuales una orden pasará antes de completarse⁶.



El propósito del modelo es relacionar el tiempo total que requiere una orden para pasar a través de n procesos, con la forma en que llegan las órdenes y el tiempo que consume cada uno de tales procesos.

El proceso contiene las siguientes variables, parámetros, características de operación e identidades.

a) Variables Exógenas:

AT_i = es el intervalo de tiempo entre llegada de la i -ésima orden y la $(i - 1)$ -ésima orden, en donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

ST_{ij} = el tiempo de procesamiento para la i -ésima orden en el j -ésimo proceso, en donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

b) Variable de Estado:

WT_{ij} = el tiempo que la i -ésima orden espera para entrar al j -ésimo proceso, en donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

IDT_{ij} = el tiempo que el proceso j -ésimo permanece ocioso mientras espera la llegada de la i -ésima orden, en donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

T_{ij} = el tiempo total que la i -ésima orden esta en el j -ésimo proceso, en donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, y $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

c) Variable Endógena

T_i = el tiempo total que la i -ésima orden está en el sistema, es decir el tiempo requerido para pasar a través de los n procesos.

d) Parámetros

$E(AT)$ = el intervalo de tiempo esperando entre las órdenes.

$Var(AT)$ = la varianza del intervalo de tiempo entre las órdenes.

$E(ST_j)$ = el tiempo esperado para el j -ésimo proceso, con $j = 1, 2, 3, \dots, m$

e) Características de operación.

$F(AT)$ = la función de densidad de probabilidad para el intervalo de tiempo entre las órdenes

$F(ST_j)$ = la función de densidad de probabilidad, para el tiempo de procesamiento del j -ésimo proceso, con $j = 1, 2, 3, \dots, m$

f) Identities.

Cuando la primera orden llega a la empresa, es decir, cuando $i = 1$, se supone que las siguientes ecuaciones describen el sistema de procesos múltiples:

$$AT_1 = 0$$

$$WT_{11} = WT_{12} = WT_{13} = \dots, WT_{1n} = 0$$

$$IDT_{11} = 0, IDT_{12} = ST_{11}, \dots, IDT_{1n} = \sum_{j=1}^{n-1} ST_{ij}$$

$$T_{11} = ST_{11}, T_{12} = ST_{12}, T_{13} = ST_{12}, \dots, T_{1n} = ST_{1n}$$

Para las órdenes subsiguientes, esto es, cuando $i = 1, 2, 3, \dots, n$, estas ecuaciones se modifican adecuadamente, las ecuaciones de tiempo se convierten en:

$$T_{i1} = WT_{i1} + ST_{i1} \quad i=2, 3, \dots, n$$

$$T_{i2} = WT_{i2} + ST_{i2} \quad i=2, 3, \dots, n$$

:

:

$$T_{in} = WT_{in} + ST_{in} \quad i=2, 3, \dots, n$$

Que el tiempo de espera o el tiempo ocioso ocurra en un instante particular, dependerá del signo de las siguientes diferencias, donde $i = 2, 3, \dots, m$

$$DIF_1 = T_{i-1,1} - A T_i$$

$$DIF_2 = (T_{i-1,1} + T_{i-1,2}) - (A T_i + WT_{i1} + ST_{i1})$$

:

$$DIF_n = (T_{i-1,1} + T_{i-1,2} + \dots + T_{i-1,n}) - (A T_i + WT_{i1} + ST_{i1} + \dots + WT_{i,n-1} + ST_{i,n-1})$$

Si DIF es positivo para el j-ésimo proceso, entonces el tiempo ocioso será nulo y el tiempo de espera puede calcularse con:

$$WT_{ij} = DIF_j \quad i=2, 3, \dots, m; \quad j=1, 3, \dots, n$$

Si DIF es negativo para un proceso en particular, entonces el tiempo de espera será nulo y el tiempo ocioso equivale a:

$$IDT_{ij} = -DIF_j \quad i=2, 3, \dots, m; \quad j=1, 3, \dots, n$$

Si DIF es igual a cero para un proceso en particular, entonces el tiempo de espera y el tiempo ocioso serán nulos para ese proceso.

Este modelo tiene varias aplicaciones posibles; por ejemplo, para probar la posibilidad económica de diseños de los procesos alternativos en la empresa.

Suponga que al comprar un equipo nuevo, la empresa reducirá un 50% el tiempo esperado de procesamiento, para un determinado proceso..

En este caso, el modelo serviría para estimar el aumento esperado en el número de órdenes que es posible procesar completamente durante un período particular de planeación, de modo de determinar si en la empresa esta justificada la compra del equipo nuevo.

Un segundo ejemplo que ilustra ciertos elementos básicos de los modelos matemáticos, es el modelo de un multiplicador- acelerador macrodinámico simple, ideado por Paul A. Samuelson. Cuyos componentes comprenden los sectores de hacienda, los negocios y gubernamental de una economía.

El propósito es relacionar el consumo total (doméstico), la inversión total(en negocios), y el gasto gubernamental para la economía, con el ingreso nacional durante un período particular de tiempo T.

El modelo contiene las siguientes variables, parámetros, características de operación e identidades:

a) Variables exógenas:

- U_t = valor de una variable estocástica con una distribución de probabilidad conocida, esperanza matemática igual a cero y una desviación estándar dada.
- V_t = valor de una variable estocástica con una distribución de probabilidad conocida, esperanza matemática igual a cero y una desviación estándar dada.
- G_t = gastos gubernamentales en el período T.

b) Variables endógenas:

- C_t = consumo durante el período T.
- I_t = inversión durante el período T.
- Y_t = ingreso nacional durante el período T.

c) Parámetros:

- c = tendencia al consumo marginal.
- b = coeficiente de aceleración

d) Características de operación:

- $C_t = c Y_{t-1} + U_t$
- $I_t = b (Y_{t-1} - Y_{t-2}) + V_t$

e) Identidad:

- $Y_t = C_t + I_t + G_t$

1.3 Clasificación de los modelos para simulación.

Para clasificar los modelos de simulación se han sugerido un cierto número de sistemas taxonómicos diferentes. Por ejemplo [Mass] propuso la posibilidad de clasificarlos de acorde a su grado de abstracción. Siendo posible determinar cinco grados de abstracción con base a los siguientes criterios:

- Número de elementos reproducidos.
- Grado de esencia de los elementos.
- Exactitud de la reproducción.
- Capacidad de reproducción.

1.4 Grados de abstracción:

- El proceso, actividad o situación sobre la cual se basa el modelo.
- Una repetición del proceso o situación inicial; por ejemplo los ciclos controlados de la industria.
- Un modelo controlado: como los de laboratorio, capaz de repetirse.
- Una extracción completamente sintética de los elementos esenciales de la situación general, como modelos en computadoras, de situaciones industriales o militares.
- Un modelo analítico cerrado, que en general, solo es nominalmente estocástico.

1.4.1 Modelos determinísticos:

En ellos, tanto las variables exógenas así como también las endógenas no varían al azar, sino que suponen relaciones exactas para las características de operación en vez de funciones de probabilidad.

1.4.2 Modelos estocásticos:

En ellos, por lo menos una de las características de operación está dada por una función de probabilidad. Son de mayor complejidad que los Modelos determinísticos. Además también interesan desde la perspectiva de generar datos al azar, los que se emplean en las etapas de observación o prueba de la investigación científica.

1.4.3 Modelos estáticos:

Aquellos que no consideran explícitamente la variable tiempo. En investigación de operaciones, salvo raras excepciones la mayoría de los trabajos se han concentrado en estos modelos.

1.4.4 Modelos dinámicos:

Corresponden a los que tratan de las interacciones que varían con el tiempo.

[Samuelson] ha propuesto la siguiente clasificación de los sistemas:

- Estático y estacionario.
- Estático e histórico.
- Dinámico y causal.
- Dinámico e histórico.
- Estocástico y no histórico.
- Estocástico e histórico.

1.5 Campo de acción de las aplicaciones de la simulación.

Se ha empleado para analizar dos diferentes tipos de problemas:

1.5.1 Problemas teóricos en áreas de ciencias básicas, como ser:

Matemáticas. Física, Química:

- a) Estimación del área encerrada por una curva, incluyendo la evaluación de integrales múltiples.
- b) Solución de ecuaciones diferenciales parciales.
- c) Estudio del movimiento de partículas en un plano.
- d) Estudio de la difusión de partículas.
- e) Solución de ecuaciones lineales simultáneas.

1.5.2 Problemas prácticos en diversos aspectos del mundo real.

- f) Simulación de procesos empresariales. Ejemplo: diseño de procesos químicos, control de inventarios, diseño de sistemas de distribución, programación de mantenimiento, diseño de sistemas de espera, programación del trabajo en el taller, diseño de sistemas de comunicación.
- g) Simulación de problemas comerciales y económicos, por ejemplo: operación de la compañía, conducta de los clientes, evaluación de gastos de capital propuestos, determinación de precios, procesos del mercado, estudio de economías nacionales en problemas de recesión e inflación, planes, planes de desarrollo y políticas de balance de pagos en economías subdesarrolladas, predicción económica.
- h) Problemas conductuales y sociales, por ejemplo, dinámicos de población, conducta individual y de grupo.
- i) Simulación de sistemas biomédicos, por ejemplo, equilibrio de líquidos, distribución de electrolitos en el cuerpo humano, representación del cerebro a través de modelos, proliferación de células sanguíneas.
- j) Simulación de estrategias y tácticas de guerra..

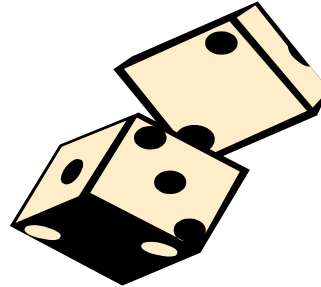
El método de Monte Carlo es una técnica que se emplea para resolver los problemas teóricos citados anteriormente, y está basado en la idea general de utilizar el muestreo para estimar un resultado deseado..

El proceso de muestreo requiere que se describa el problema en estudio mediante una distribución de probabilidad adecuada, de la cual se toman muestras.

Posiblemente, sea difícil establecer un punto de unión por ejemplo entre evaluar una integral y una distribución de probabilidad, esto debido a la

determinación de una integral es un problema determinístico. Sin embargo, se debe tener presente que el muestreo de Monte Carlo estima y no determina exactamente el valor de la integral.

La marejada de adelantos en la aplicación del método de Monte Carlo para solucionar problemas teóricos se desplomó entre finales de los 50 y principio de los 60. En su lugar se puso de interés en el análisis de problemas prácticos complejos.



Varias de las ideas que fueron desarrolladas junto con el método de Monte Carlo se emplean directamente en la aplicación de la simulación. Entre estas ideas se cuentan el uso de números aleatorios para obtener muestras de una distribución de probabilidad, así como también técnicas para reducir el tamaño de la muestra que se requiere para determinar el resultado deseado en forma confiable.

El actual éxito de la simulación en el modelado de sistema complejos se apoya por completo en los impresionantes adelantos alcanzados tanto por las computadoras, como así también por los software desarrollados.

1.6 Tipos de Simulación.

Los modelos de simulación se elaboran para el análisis del comportamiento de sistemas como función del tiempo. De acuerdo a esto, los tipos de simulación pueden ser:

- Simulación discreta: donde el sistema a simular se observa únicamente en puntos seleccionados en el tiempo. Su nombre se originó debido a que las estadísticas se obtiene saltando de un punto (discreto) a otro en la escala de tiempo. Por ejemplo, un sistema de cola en el cual a los clientes se les ofrece un servicio o se agregan a

una cola en espera del servicio, y luego e ser atendidos abandonan la instalación.

- Simulación continúa: El sistema se monitorea en todos y cada uno de los puntos en el tiempo. Por ejemplo, el flujo de un líquido en una tubería o del crecimiento de la población mundial.

En ambos tipos de simulación, el objetivo final es recolectar estadísticas pertinentes que puedan ser empleadas para describir el comportamiento de los sistemas simulados.

En los sistemas discretos, las estadísticas como la longitud de la fila, o el intervalo de tiempo de espera pueden cambiar solamente cuando llega un nuevo cliente al sistema, o bien cuando un cliente completa su servicio y sale de la instalación.

En los sistemas continuos, las estadísticas se pueden obtener solo a través del monitoreo de la situación en forma continua. Por ejemplo, al estudiar la dinámica de la población mundial, algunas de las variables que nos interesarían monitorear como función del tiempo son:

1. Cambio en la población.
2. Cambios en los recursos naturales.
3. Cambios en el estándar de vida.

¹ Churchman West, “An Analysis of the Concept of Simulation”, 1963

² “Fundamental Concepts in the design of Experiments”, 1964

³ Naylor T., “Técnicas de Simulación en computadoras”, 1996

⁴ “Fractional Factorial Designs For Factor at Two Levels”, 1975

⁵ Cox D. “Planning of Experiments”, 1959

⁶ Thomas Naylor, Joseph Balinfly, Donald Burdick, Kong Chu.