

Aplicación de simulación Monte Carlo en un sistema de Inventarios Dinámico

Vicente Ángel Ramírez Barrera¹

Ángel Eduardo Ramírez Nieves²



RESUMEN

La principal herramienta con que se cuenta actualmente en las ciencias sociales, y en cualquier otra ciencia, es la computadora. Su aplicación en áreas organizacionales, administrativas, empresariales y comerciales ha traído cambios profundos. El propósito de este trabajo es demostrar cómo la simulación Monte Carlo en computadora digital coadyuva a tomar decisiones en un sistema dinámico de inventarios y a corregir apreciaciones subjetivas. Los primeros resultados obtenidos con la información proporcionada mostraron inconsistencias en el comportamiento del sistema por lo que se procedió a reconsiderar los datos dados y correr nuevamente el modelo de simulación; esta vez, con resultados satisfactorios.

¹ Profesor-Investigador Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, varbar@correo.xoc.uam.mx

² Profesor-Investigador Universidad Tecnológica del Estado de México

ABSTRACT

The main tool we currently have in the social sciences, and in any other science, is the computer. Its application in areas organizational, administrative, business and trade has brought profound changes. The purpose of this paper is to demonstrate how Monte Carlo simulation in digital computer helps to make decisions in a dynamic system and correct inventory subjective judgments. The first results obtained with the information provided showed inconsistencies in the behavior of the system so we proceeded to reconsider the data given the model and run simulation again, this time successfully.

Palabras clave: Computadora, decisión, inventario, simulación y sistema.
Keywords: Computer, decision, inventory, simulation and system.

Introducción

La principal herramienta con que se cuenta actualmente en las ciencias sociales, así como en cualquier otra ciencia, es la computadora. Ésta por su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y amplia flexibilidad para simular la realidad, abre una nueva expectativa para observar, analizar y conocer fenómenos de las diversas áreas sociales. Con el ordenador electrónico se pueden solucionar problemas que no es factible resolver con otros medios. Algunos experimentos que se han realizado para solventar problemas por medio del procesador electrónico de datos son: simulación de procesos de producción, simulación para entrenamiento de personas, simulación dinámica no lineal de sistemas sociales, etc. En especial, las aplicaciones de la computadora en las áreas organizacionales, administrativas, empresariales y comerciales han traído cambios profundos, principalmente con el surgimiento de una nueva clase social e intelectual de personas que además de usar al ordenador electrónico, lo comprenden, lo dominan, y por tanto, piensan de manera diferente acerca de lo que es el conocimiento ahora; es decir, este dispositivo electrónico ha venido a modificar la estructura misma del conocimiento.

El poder de la computadora en la solución de problemas se halla en su capacidad para modelar y simular sistemas, aun cuando sean complejos o dinámicos; es tan sorprendente su potencial en este sentido, que por su uso, importancia y calificado nivel intelectual, la rama de la ciencia computacional ha llegado quizás a superar a las dos ramas tradicionales de la ciencia, la experimental y la teórica. El vertiginoso ascenso de esta ciencia se debe sin

duda a los impresionantes adelantos que ha habido tanto en el hardware como en el software de la computación. De esta manera, a través del procesador electrónico se han podido enfrentar problemas que antes no podían abordarse. Este nuevo método de análisis de sistemas que permite el ordenador electrónico, en especial en las ciencias sociales como la economía, las ciencias políticas, la administración, etc., está revelando nuevos aspectos de la realidad que se viven ahora.

Generalmente en las ciencias sociales no se pueden realizar pruebas debido a motivos éticos; sin embargo, los modelos de simulación en computadora son un nuevo modo de hacer ensayos y a veces son la única ruta a seguir. Por ejemplo, en el caso de la administración, si se realizan observaciones precisas de sistemas reales en las organizaciones y luego se simulan en un ordenador electrónico los modelos de esos sistemas, se avanza tanto en la parte teórica como en la eficacia de esas organizaciones y de sus sistemas, porque los modelos de computación son una nueva forma de hacer “experimentos” para resolver problemas, tomar decisiones, innovar y obtener conocimiento.

La computadora, como herramienta para estudiar sistemas dinámicos, cumple un importante papel para establecer la necesaria precisión en ellos, pues se pueden hacer modelos computarizados con algoritmos que simulen su conducta a través del tiempo. El comportamiento del estado del sistema se determina mediante la identificación de sus elementos o partes, el establecimiento de las relaciones que existen entre éstos y la definición de sus límites. Una vez identificados los elementos del sistema, se recomienda seleccionar aquellos que sean los principales

causantes de su comportamiento; esto es, los que permitan determinar el espacio del estado del sistema, omitiendo toda clase de aspectos irrelevantes. Cuando se cuenta con esta información se está en posibilidad de construir modelos que representen la estructura del sistema, para luego, simular su comportamiento en un procesador electrónico y, como se trata de un modelo de un sistema dinámico, al representar sus elementos y relaciones, hay que hacerlo en un estado de interacción.

Cabe recordar que las computadoras son máquinas y que, aun en los estudios de simulación, no se puede dejar de lado el juicio humano en relación con los datos y los programas que se introducen en el ordenador electrónico; por tanto, siempre hay que tener presente que un procesador electrónico es un instrumento en manos humanas y no una caja negra con cualidades mágicas que pueda crear por si sola una realidad o conocimiento nuevo. Si esto sucede, entonces con toda seguridad se está confundiendo la simulación con la realidad. Al intentar simular sistemas, y para que las simulaciones sean eficaces, se deben emplear modelos sencillos que los representen, si no lo que se haría es simplemente tratar de imitar ciegamente esos sistemas pero sin alcanzar comprensión alguna de su comportamiento. A través de la simulación en computadora es factible obtener un cuadro más preciso de las conductas de los sistemas al establecer correlaciones entre sus diferentes partes y conocer por qué o cómo se dan estas³.

Planteamiento del Problema

El proceso mental de la mayoría de las personas utiliza conceptos que, después de ser manipulados mentalmente, crean nuevos arreglos de la realidad. Estos conceptos no son, de hecho, el sistema real sino abstracciones basadas en su experiencia, la que ha sido filtrada y modificada por la percepción del individuo y por los procesos organizacionales donde está inmerso. De esta manera, *... la mente humana está bien adaptada para construir y usar modelos que relacionan objetos en el espacio... Pero si se enfrenta con los modernos sistemas sociales y tecnológicos sin ayuda, entonces no tiene la capacidad adecuada para construir e interpretar los modelos dinámicos que representan a esos sistemas ni para analizar sus cambios a través del tiempo* (Forrester, 1980, p. 3-2).

Algunos de los defectos existentes que puede haber en los modelos mentales de la gente acerca de los sistemas pueden ser eliminados. Esto es, se puede entender razonablemente mejor la realidad de un sistema cuando el modelo que lo representa se puede expresar como un diagrama o por medio de ecuaciones, cuando sus suposiciones subyacentes pueden ser analizadas, cuando se puede presentar a otras personas y éstas lo entienden y cuando se puede determinar su patrón de comportamiento a través del tiempo. Además, con la transcripción de esas representaciones en instrucciones para la computadora ayuda al proceso mental de los sujetos a entender como varían los sistemas en el tiempo.

³ Un modelo que explica y correlaciona los datos de una manera cuantitativa y descriptiva, sin ir a las razones profundas por las cuales existen tales correlaciones, se denomina fenomenológico. La creación de un modelo fenomenológico es el primer paso hacia una comprensión más profunda de lo que ocurre en un sistema (Pagels, 1991; p. 88).

La simulación es un proceso de solución que se sigue paso a paso. Las ecuaciones o las instrucciones dadas para calcular el siguiente paso en el tiempo son denominadas “el modelo de simulación”. Actualmente estos modelos están recibiendo mucha atención por parte de quienes toman decisiones; cuando se trata con problemas suscitados en sistemas cuyas soluciones analíticas están más allá del alcance de las matemáticas actuales o es muy costoso hacer una experimentación física del mismo, entonces se gira la atención hacia un proceso de simulación en computadora.

La simulación en un ordenador electrónico es un “experimento” que proporciona una solución que no es la óptima; sin embargo, si otorga un conjunto de aproximaciones que son soluciones factibles para el problema o bien un conjunto de posibles patrones de conducta para el sistema en un futuro. Con la simulación en computadora digital es posible registrar la historia a través del tiempo de la operación simulada del sistema; esto es, se registran los coeficientes y condiciones iniciales de los valores numéricos que fueron seleccionados en un principio y se guarda información sobre las diferentes condiciones y cálculos (paso a paso) como una respuesta de la conducta que sigue el sistema a través del tiempo que se simula. Además, hay que considerar que el costo de uso de las computadoras actualmente es tan barato que no importa cuán grande sea el número de simulaciones que se hagan del modelo del sistema, éste será mínimo y los cálculos muy rápidos.

Desde hace más de 30 años que el Sr. Gonzalo Tlaxami Almaraz es dueño, junto con dos de sus hermanos, Raúl y Antonio, de la refaccionaria para autos y

camiones “Almaraz”. Esta está ubicada en el kilometro 20.5 de la carretera federal México – Toluca, en la entrada al pueblo de Cuajimalpa. La Refaccionaria Almaraz es un sistema constituido por sus dueños, los diferentes tipos de refacciones y productos que venden; además, se puede clasificar como abierto porque interactúa y tiene relación con elementos del ambiente (proveedores, clientes, contadores, representantes de la Delegación Política de Cuajimalpa de Morelos, etc.). Además, es un sistema dinámico porque cambia constantemente su estado debido a las transacciones comerciales que lleva a cabo. En la Refaccionaria Almaraz se suscitó un problema de inventarios de amortiguadores para los autos Chevy de la marca Chevrolet, por lo que se procedió a utilizar simulación por el método de Monte Carlo para encontrarle una solución. El problema sentido era cuándo hacían el pedido a su proveedor y, principalmente, el tiempo en qué se los entregaban. Los dueños solicitaron apoyo a los autores de este trabajo para analizar esta situación.

Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es: “Demostrar cómo la técnica de simulación Monte Carlo en computadora digital coadyuva a una toma de decisiones adecuada en un sistema dinámico de inventarios”.

Metodología

El método que se siguió fue, primero, una entrevista personal donde los dueños expresaron sus opiniones respecto del problema sentido y sus experiencias, según su

memoria, sin recurrir a la revisión de documentación. Después de un primer análisis, sobre la base de la información proporcionada, y ante resultados adversos, se procedió a revisar una muestra de sus registros; con estos datos se determinó nuevamente la demanda semanal y el número de semanas desde que se coloca el pedido hasta que se entregan los juegos de amortiguadores en la Refaccionaria. Por último, se propusieron valores para el punto de pedido y la cantidad pedida con el propósito de observar la variación en el comportamiento del sistema de inventario. En cada uno de las simulaciones se realizaron corridas que comprenden diez años de operación, es decir, 520 semanas simuladas, y se obtuvieron las estadísticas correspondientes.

Marco conceptual

La técnica de la simulación ha sido por mucho tiempo una importante herramienta (Thierauf & Grosse, 1970, p. 470 y Hillier & Lieberman, 2010; p. 871) que permite *probar con anticipación los resultados de algunas de las decisiones que se piensan tomar en las organizaciones* (Bierman et al, 1994; p. 559) y, de hecho, *ya existe un gran número de empresas en todo el mundo que han implantado modelos de simulación en computadoras para*

seleccionar cursos de acción en áreas financieras, de mercadotecnia, producción, inventarios, etc. (Prawda, 1996; p. 315).

La simulación⁴ en computadora es una técnica cuya aplicación tiene como fin obtener conocimiento nuevo o resolver problemas de decisión imitando la operación o comportamiento dinámico de un sistema, que se está proponiendo o que existe en la realidad, mediante la construcción de un dispositivo experimental numérico o un modelo matemático y/o lógico, donde se sustituyen las propiedades esenciales de aquellos por expresiones matemáticas o lógicas, para luego representar su conducta en una computadora a través de la dimensión tiempo.

La simulación actualmente es una técnica relevante de la Investigación de Operaciones, debido principalmente al gran desarrollo tecnológico que se ha dado en el ámbito de las computadoras en los últimos sesenta años. En los procedimientos cuantitativos de la Investigación de Operaciones se utiliza ampliamente el ordenador electrónico por la flexibilidad con que pueden representarse los modelos matemáticos y/o lógicos, más la gran capacidad que tiene de almacenar datos y su rapidez de procesamiento⁵.

Cuando se quiere conocer, mejorar o cambiar el funcionamiento de un sistema, la mejor manera de hacerlo

⁴ Naylor (1971; p. 16) en su obra expone dos definiciones de simulación, la primera es más formal que la segunda como se puede ver a continuación:

a) "x simula a y" si y sólo si: 1), x e y son sistemas formales; 2), y se considera como el sistema real; 3), x se toma como una aproximación del sistema real; 4), las reglas de validez en x no están exentas de error.

b) 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.

⁵ También debido a que actualmente están al alcance de cualquier persona que necesita tomar una decisión o solucionar un problema que no se pueda resolver porque no se cuenta con modelos matemáticos analíticos que permitan obtener resultados óptimos debido a la complejidad que presentan, a las relaciones estocásticas que existen entre sus componentes o a la ausencia de información y datos.

es observándolo y luego simulándolo en un procesador electrónico de datos. La observación permite analizar al sistema en su estado actual y recopilar datos, generalmente en un intervalo de tiempo dado. Esto proporciona información importante acerca de la operación del proceso o comportamiento del sistema bajo estudio. Después, se puede representar como un conjunto de relaciones matemáticas y lógicas entre los elementos y subconjuntos que lo conforman con el fin de simular su comportamiento; esto es, para imitar al sistema es necesario contar con un modelo de simulación⁶. Este modelo posteriormente es traducido a lenguaje de computadora, construido en un paquete de simulación o representado en una hoja de cálculo electrónica para ser ejecutado en un ordenador electrónico, donde se simulará el desempeño real del sistema a través del tiempo.

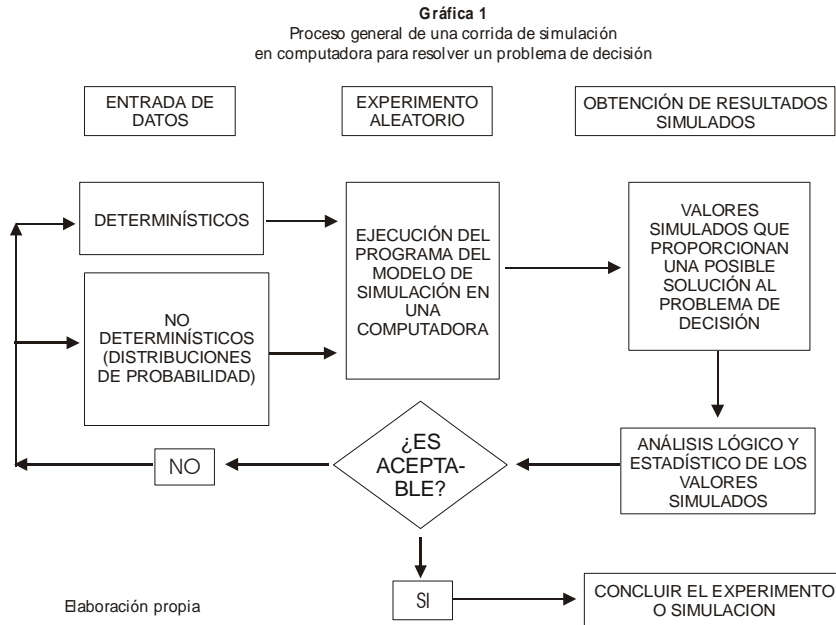
La simulación de un sistema en computadora se considera como un experimento de tipo estadístico o de muestreo cuyos resultados deben analizarse mediante pruebas estadísticas adecuadas. La técnica de la simulación no es un método de optimización, su aplicación implica realizar estudios donde se hace la pregunta: ¿Qué sucedería si...? En particular, la técnica de la simulación se emplea ampliamente en la administración de todo tipo de organización para estudiar o analizar sistemas donde no se pueden usar métodos analíticos que permitan determinar con exactitud soluciones óptimas. Es decir, apoyándose en esta técnica y haciendo uso de ordenadores electrónicos se puede imitar la operación de sistemas para proporcionar,

a quien es responsable de tomar decisiones, de alternativas de solución, no óptimas, para los problemas que se generan en dichos sistemas.

El procesador electrónico de datos, dada sus características de alta velocidad y gran capacidad de memoria, como ya se mencionó, puede simular la operación de un sistema por mucho tiempo, inclusive por varios años, en tan sólo algunos minutos. Al registrar el desempeño de la operación simulada de un sistema se podrán considerar varios tipos de diseño del sistema o cursos de operación de un proceso perteneciente al sistema, que permitirán evaluar varias alternativas antes de decidirse por una de ellas.

Las ventajas de la simulación son: su aplicación directa, que no afecta al sistema en su operación; menor costo que la sustitución del sistema real por un nuevo diseño propuesto; más fácil de aplicar que los métodos analíticos y; una vez construido el modelo de simulación, éste se puede ejecutar en una computadora cuantas veces se desee para analizar diferentes valores de los parámetros, diversas políticas propuestas o algunos nuevos diseños del sistema. Al realizar la simulación mediante un ordenador electrónico, los valores de inicio son de tipo controlado y los proporciona generalmente quien está interesado en resolver el problema o quien toma las decisiones para que se solucione; mientras que los valores de tipo probabilístico se generan mediante algún proceso aleatorio. El proceso general de una corrida de simulación en computadora se muestra en la gráfica #1.

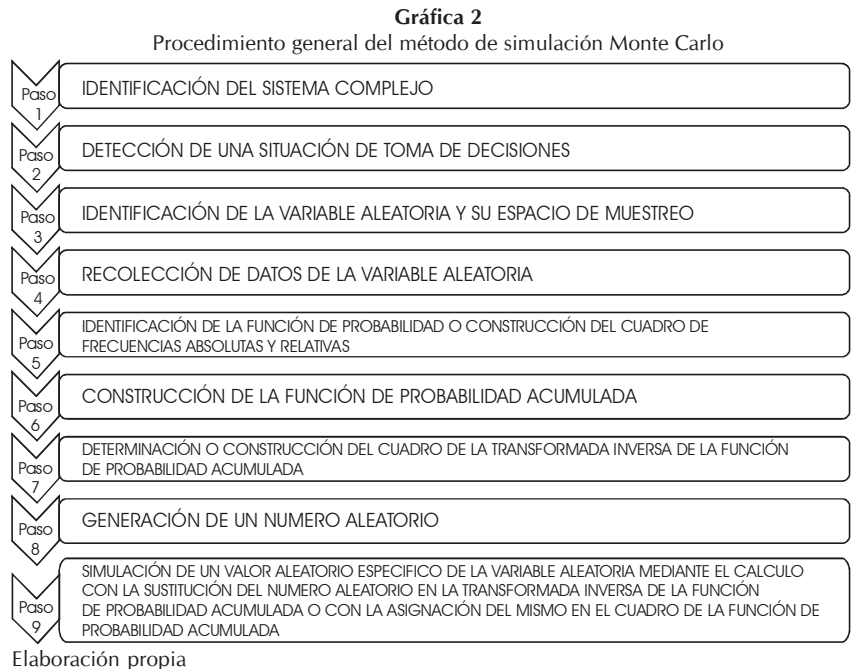
⁶ Winston (2005; p. 1145) define al modelo como *la forma de un conjunto de suposiciones acerca de la operación del proceso o sistema real o propuesto, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre sus objetos o componentes de interés.*



mediante la simulación de un proceso estocástico cuyos momentos o distribuciones de probabilidad satisfacen las relaciones matemáticas del problema (Naylor, 1971; p. 15). Recibió el nombre de Monte Carlo en referencia al Casino de Monte Carlo, ubicado en el Principado de Mónaco, al que se considera “la capital del juego de azar”. La ruleta es un generador de números aleatorios. En la gráfica #2 se expone el procedimiento que se sugiere aplicar cuando se usa el método Monte Carlo.

Método de Monte Carlo

El uso de la simulación por el método de Monte Carlo se remonta a fines de 1940, cuando John von Neumann y Stanislaw Ulam acuñaron el término “análisis de Monte Carlo” para aplicarlo a una técnica matemática que usaban entonces para resolver ciertos problemas de protección nuclear que eran, o demasiado costosos para resolverse experimentalmente o demasiado complicados para ser tratados analíticamente. El análisis de Monte Carlo involucra la solución de un problema matemático probabilístico,



Resultados

En el momento de la entrevista, los dueños expresan que su proveedor no les surte adecuadamente. Según su opinión, la cantidad que se vende de juegos de amortiguadores para este tipo de auto por semana, es la que se expresa en el cuadro #1.

Cuadro 1

Distribución de la demanda semanal de juegos completos de amortiguadores para autos Chevy de la marca Chevrolet

Demanda semanal (Juegos amortiguadores)	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
1	0.05	0.05
2	0.25	0.30
3	0.35	0.65
4	0.20	0.85
5	0.15	1.00
Total	1.00	

Elaboración propia

Respecto al tiempo que transcurre entre la colocación de un pedido y la entrega de la mercancía por parte del proveedor, estiman que fluctúa entre dos y cinco semanas, como se puede observar en el cuadro #2.

Cuadro 2

Distribución de semanas desde que se coloca el pedido hasta la entrega de los amortiguadores en la Refaccionaria Almaraz

Numero de semanas	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
2	0.20	0.20
3	0.50	0.70
4	0.20	0.90
5	0.10	1.00
Total	1.00	

Elaboración propia

Es obvio que se trata de un problema de inventarios con demanda y tiempos de entrega de la mercancía no determinísticos, donde los dueños están interesados en el tiempo de anticipación en que deben formular el pedido a su proveedor, Refaccionaria California, con el propósito de contar con existencia del producto, para siempre satisfacer la demanda aleatoria de su clientela. Dada la situación anterior, para determinar el comportamiento no determinístico del sistema de inventarios, la demanda aleatoria y las pérdidas por escasez de los juegos de amortiguadores para autos Chevy se procedió a realizar una simulación Monte Carlo.

En el cuadro #3 se determinan los intervalos de números aleatorios para simular la cantidad demandada de juegos de amortiguadores para autos Chevy de la marca Chevrolet y, en el cuadro #4, se especifican los intervalos de números aleatorios para simular el número de semanas de entrega de los juegos de amortiguadores por parte del proveedor.

Cuadro 3

Asignación de números aleatorios para simular la demanda de juegos de amortiguadores para autos Chevy de la marca Chevrolet

Intervalo de números aleatorios	Asignación simulada de la demanda
$0.0000 \leq D < 0.05$	1
$0.0500 \leq D < 0.30$	2
$0.3000 \leq D < 0.65$	3
$0.6500 \leq D < 0.85$	4
$0.8500 \leq D < 1.00$	5

Elaboración propia

Cuadro 4

Asignación de números aleatorios para simular las semanas desde que se coloca el pedido, hasta la entrega de los amortiguadores en la Refaccionaria Almaraz

Intervalo de números aleatorios	Asignación simulada de semanas de entrega
$0.0000 \leq D < 0.20$	2
$0.2000 \leq D < 0.70$	3
$0.7000 \leq D < 0.90$	4
$0.9000 \leq D < 1.00$	5

Elaboración propia

Para llevar a cabo la primera simulación en computadora se ha considerado el punto de pedido ($R = 5$), la cantidad por pedido ($Q = 10$) y la existencia en inventario ($II = 15$) de juegos de amortiguadores.

En el cuadro #5 se puede observar una muestra de los resultados iniciales y finales de la primera simulación en computadora, realizada con datos recolectados según la apreciación subjetiva de los dueños, del comportamiento del inventario semanal de juegos completos de amortiguadores para autos Chevy durante diez años. Los encabezados de las columnas por sí mismos muestran las relaciones matemáticas y lógicas utilizadas en la simulación Monte Carlo en hoja de cálculo Excel. Las estadísticas obtenidas de esta primer corrida (véase cuadro #6) señalan que el inventario promedio al inicio de semana fluctúa, con un 95% de confianza, entre tres y cuatro juegos de amortiguadores, sin embargo, en la mayoría de las semanas no hay existencia y el coeficiente de variación es muy grande (109.84%); en cambio, la demanda promedio por semana es prácticamente constante (tres juegos de amortiguadores) con un coeficiente de variación de

36.09%, y; las ventas perdidas son de casi dos juegos de amortiguadores por semana, aunque según la moda la más de las veces no hay pérdida, pero su coeficiente de variación de 108.07% implica alta variabilidad en este concepto.

Cuadro 6

Estadísticas descriptivas del inventario a inicio de semana, de la demanda semanal y de las pérdidas por escasez

Concepto	Inventario	Demanda	Pérdida
Media	3.521154	3.05962	1.56154
Error típico	0.16961	0.04844	0.074
Mediana	2	3	1
Moda	0	3	0
Desviación estándar	3.867698	1.10451	1.68756
Varianza de la muestra	14.95909	1.21995	2.84784
Curtosis	-1.10939	-0.73756	-1.0662
Coefficiente de asimetría	0.622185	0.26937	0.56105
Rango	15	4	5
Mínimo	0	1	0
Máximo	15	5	5
Suma	1831	1591	812
Cuenta	520	520	520

Elaboración propia

Ante el alto valor de los coeficientes de variación obtenidos en las variables de inventario al principio de semana y la pérdida de ventas semanal, se concluyó que algo no estaba bien. Se procedió a revisar los datos proporcionados y a realizar nuevas simulaciones. Después de un número suficientemente grande de intentos se dedujo que la apreciación que tenían los dueños en la entrega del producto por parte del proveedor en el momento en que la proporcionaron era probablemente errónea. Un nuevo acercamiento con ellos condujo a la posibilidad de recabar datos de los registros de la Refaccionaria. El comportamiento que se detectó de la demanda semanal de juegos de amortiguadores varía con respecto a la opinión

Cuadro 5

Resultados de la simulación de diez años del inventario semanal de juegos completos de amortiguadores para autos Chevy de la marca Chevrolet

Número de semana	Inventario inicio de semana	Numero aleatorio (demanda)	Demanda semanal simulada	Inventario final de semana	Ventas perdidas x escasez	Colocar pedido	Cantidad pedida Q=	Número aleatorio (entrega)	Número semanas simuladas	Cantidad entregada
1	15	0.7546	4	11	0	NO	0		0	0
2	11	0.8845	5	6	0	NO	0		0	0
3	6	0.1472	2	4	0	NO	0		0	0
4	4	0.7312	4	0	0	SI	10	0.1590	2	0
5	0	0.9109	5	0	5	NO	0		0	0
6	0	0.2980	2	0	2	NO	0		0	10
7	10	0.6854	4	6	0	NO	0		0	0
8	6	0.7823	4	2	0	NO	0		0	0
9	2	0.5587	3	0	1	SI	10	0.3763	3	0
10	0	0.1575	2	0	2	NO	0		0	0
11	0	0.9081	5	0	5	NO	0		0	0
12	0	0.6843	4	0	4	NO	0		0	10
13	10	0.8810	5	5	0	NO	0		0	0
14	5	0.4662	3	2	0	SI	10	0.1270	2	0
15	2	0.1462	2	0	0	NO	0		0	0

505	0	0.8104	4	0	4	NO	0		0	0
506	0	0.8381	4	0	4	NO	0		0	0
507	0	0.1650	2	0	2	NO	0		0	10
508	10	0.9998	5	5	0	NO	0		0	0
509	5	0.2717	2	3	0	SI	10	0.1681	2	0
510	3	0.6873	4	0	1	NO	0		0	0
511	0	0.7162	4	0	4	NO	0		0	10
512	10	0.1431	2	8	0	NO	0		0	0
513	8	0.9274	5	3	0	NO	0		0	0
514	3	0.7893	4	0	1	SI	10	0.9870	5	0
515	0	0.2345	2	0	2	NO	0		0	0
516	0	0.6073	3	0	3	NO	0		0	0
517	0	0.7657	4	0	4	NO	0		0	0
518	0	0.2132	2	0	2	NO	0		0	0
519	0	0.7569	4	0	4	NO	0		0	10
520	10	0.7358	4	6	0	NO	0		0	0

de los dueños, de hecho es menor, como se muestra en el cuadro #7 y lo mismo ocurre con la variable número de semanas que pasan desde que se coloca el pedido hasta la entrega de los juegos de amortiguadores en la Refaccionaria (véase cuadro #8).

Cuadro 7

Distribución de la demanda semanal de juegos completos de amortiguadores para autos Chevy de la marca Chevrolet revisada.

Demanda semanal (Juegos de amortiguadores)	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
1	0.15	0.15
2	0.40	0.55
3	0.25	0.80
4	0.15	0.95
5	0.05	1.00
Total	1.00	

Elaboración propia

Cuadro 8

Distribución de semanas desde que se coloca el pedido hasta la entrega de los juegos de amortiguadores en la Refaccionaria Almaraz revisada

Número de semanas	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
1	0.50	0.50
2	0.30	0.80
3	0.15	0.95
4	0.05	1.00
Total	1.00	

Elaboración propia

Con la información sustraída de los registros de la Refaccionaria se procedió entonces a elaborar nuevos intervalos de números aleatorios y realizar nuevas corridas de simulación de diez años (520 semanas). Los resultados se pueden ver en el cuadro #9 a continuación.

Cuadro 9

Estadísticas descriptivas del inventario a inicio de semana, de la demanda semanal y las pérdidas por escasez con datos revisados.

Concepto	Inventario	Demanda	Pérdida
Media	4.988462	2.60192	0.53077
Error típico	0.162105	0.04764	0.04729
Mediana	5	2	0
Moda	0	2	0
Desviación estándar	3.696567	1.08644	1.07834
Varianza de la muestra	13.66461	1.18034	1.16283
Curtosis	-1.28737	-0.5725	3.27084
Coficiente de asimetría	0.081773	0.42442	2.05353
Rango	15	4	5
Mínimo	0	1	0
Máximo	15	5	5
Suma	2594	1353	276
Cuenta	520	520	520

Elaboración propia

Con la nueva información recabada aumenta a cinco juegos de amortiguadores el promedio del inventario inicial semanal (dos más), la demanda promedio disminuye a menos de tres juegos de amortiguadores (2.6) y, lo más notable es que la pérdida de ventas por falta de existencia se reduce a un promedio semanal de medio juego. Por otro lado, los coeficientes de variación se comportan así: el del inventario inicial disminuye de 109.84% a 74.10%, el de la demanda aumenta de 36.09% a 41.76% y el de la pérdida prácticamente se duplica al pasar de 108.07% a 203.17%.

Con el fin de ver si se podía mejorar la situación se modificó la cantidad pedida (Q) de juegos de amortiguadores disminuyéndola a siete juegos, manteniendo sin variar el punto de pedido ($R = 5$) y el inventario inicial ($II = 15$). El resultado de la simulación, también de 520 semanas, es el que se expone en el cuadro #10 a continuación.

Cuadro 10

Estadísticas descriptivas del inventario a inicio de semana, de la demanda semanal y las pérdidas por escasez

Concepto	Inventario	Demanda	Pérdida
Media	5.153846	2.51923	0.57692
Error típico	0.161163	0.04447	0.0475
Mediana	5	2	0
Moda	10	2	0
Desviación estándar	3.675072	1.01417	1.08317
Varianza de la muestra	13.50615	1.02853	1.17326
Curtosis	-1.21732	-0.33958	2.75433
Coficiente de asimetría	0.052095	0.48156	1.87851
Rango	15	4	5
Mínimo	0	1	0
Máximo	15	5	5
Suma	2680	1310	300
Cuenta	520	520	520

Elaboración propia

Las variables demanda y pérdidas de ventas de juegos de amortiguadores no varían, pero es notable la estadística moda del concepto inventario al inicio de semana la cual asciende a diez juegos aunque permanece la misma variabilidad.

Para continuar con ensayos se determinó reducir el punto de pedido R a cuatro unidades, manteniendo la cantidad pedida Q en siete juegos y el inventario a inicio de semana II en 15. En el cuadro #11 se muestran los resultados de la simulación de 520 semanas con estos datos. En términos absolutos los valores promedio son los mismos que los de la simulación anterior: cinco juegos de inventario inicial, tres juegos de demanda y un juego de pérdida por semana. La variabilidad es prácticamente la misma, de acuerdo a los valores de la desviación estándar. Lo relevante en este cuadro es que la moda disminuye de diez unidades a cero.

Cuadro 11

Estadísticas descriptivas del inventario a inicio de semana, de la demanda semanal y las pérdidas por escasez

Concepto	Inventario	Demanda	Pérdida
Media	4.655769	2.56154	0.80385
Error típico	0.166474	0.04824	0.05546
Mediana	4	2	0
Moda	0	2	0
Desviación estándar	3.796201	1.10004	1.2646
Varianza de la muestra	14.41114	1.21008	1.59921
Curtosis	-1.32433	-0.42288	0.7083
Coficiente de asimetría	0.196652	0.51429	1.3833
Rango	15	4	5
Mínimo	0	1	0
Máximo	15	5	5
Suma	2421	1332	418
Cuenta	520	520	520

Elaboración propia

Para resumir, véase el cuadro #12. En primer lugar están los resultados obtenidos con los datos proporcionados por los dueños de la Refaccionaria, con lo cual se obtienen los promedios de un inventario inicial de aproximadamente cuatro juegos de amortiguadores, una demanda semanal de tres y una pérdida promedio semanal de más de un juego. A continuación se exponen los resultados promedio de la simulación con datos extraídos de los registros de la Refaccionaria son: el inventario a inicio de semana es de cinco (uno más que en el caso anterior); la demanda semanal es de dos (una unidad menos que en la simulación previa) y la pérdida de ventas por semana es menor de una unidad (disminución muy notable con respecto al ejercicio de la simulación precedente). En tercer término, se exponen los resultados con datos propuestos, disminuyendo la cantidad pedida Q de quince a siete; en lo que se refiere a la demanda semanal y la pérdida por semana de juegos de

amortiguadores no hay variación pero el inventario a principio de semana si aumenta, aunque poco, y lo más relevante es que se obtiene una moda de diez juegos según se mencionó antes. Por último, se redujo en una unidad el punto de pedido R, de cinco a cuatro, y se simuló nuevamente el comportamiento del inventario de juegos completos de amortiguadores para autos Chevy de la marcha Chevrolet; los resultados indican que disminuye la cantidad de juegos en inventario a menos de cinco unidades, se mantiene la demanda con una solicitud de juegos menor a tres y se tiene una pérdida menor a un juego por semana. La variabilidad, interpretada a través de la desviación estándar es semejante en todos los casos y para las tres variables consideradas.

Cuadro 12

Resumen de las estadísticas del inventario a inicio de la semana, de la demanda semanal y de las pérdidas por escasez

Concepto	Inventario	Demanda	Pérdida
Con datos de los dueños			
Media	3.521154	3.05962	1.56154
Moda	0	3	0
Desviación estándar	3.867698	1.10451	1.68756
Con datos de los registros			
Media	4.988462	2.60192	0.53077
Moda	0	2	0
Desviación estándar	3.696567	1.08644	1.07834
Con datos de 1er propuesta			
Media	5.153846	2.51923	0.57692
Moda	10	2	0
Desviación estándar	3.675072	1.01417	1.08317
Con datos de 2da propuesta			
Media	4.655769	2.56154	0.80385
Moda	0	2	0
Desviación estándar	3.796201	1.10004	1.2646

Elaboración propia

Conclusiones y recomendaciones

La técnica de Simulación Monte Carlo, realizada en hoja de cálculo Excel de una computadora digital, coadyuva a la toma de decisiones que se requieren en sistemas dinámicos.

El método de simulación Monte Carlo en hoja de cálculo Excel permite corregir la apreciación subjetiva de un evento cuando no es la adecuada por parte de quienes toman decisiones, pues el juicio o memoria de las personas no siempre es correcto. En este caso, la abstracción mental de la demanda semanal y las semanas de entrega de los juegos de amortiguadores para autos Chevy, marca Chevrolet, por los dueños de la Refaccionaria Almaraz posiblemente se distorsionó por alguna experiencia reciente.

De acuerdo con las simulaciones realizadas se recomienda disminuir el punto de pedido R a cuatro y la cantidad pedida Q a siete juegos completos de amortiguadores.

Se propone llevar a cabo un estudio más minucioso que abarque los costos del inventario de juegos completos de amortiguadores para esta clase de autos.

Referencias

- Bierman, H., Bonini, C. & Hausman, W., 1994; **Análisis cuantitativo para la toma de decisiones**; Ed. Addison Wesley Iberoamericana, S. A.; USA.
- Churchman, C. W., 1979; **El enfoque de sistemas**; Editorial Diana, S. A.; México.
- Daellenbach, H., George, J. & McNickle, D., 1983; **Introduction to operations research techniques**; Ed. Allyn and Bacon, Inc.; 2ª Edición; USA.
- Eppen, G. D., Gould, F. J., Schmidt, C. P., Moore, J. H. & Weatherford, L. R., 2000; **Investigación de operaciones en la ciencia administrativa**; Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.; México.
- Gillet, B. E., 1976; **Introduction to Operations Research. A computer – oriented algorithmic approach**; Ed. McGraw Hill, Inc.; USA.
- Greenwood, W. T., 1978; **Teoría de decisiones y sistemas de información. Introducción a la toma de decisiones administrativa**; Editorial Trillas, SA.; México.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. & Sturrock, D. T., 2008; **Simulación con software Arena**; Ed. McGraw Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.; México.
- Moskowitz, H. & Wright, G. P., 1979; **Investigación de operaciones**; Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.; México.
- Prawda, J., 1996; **Métodos y modelos de investigación de operaciones**; Editorial LIMUSA, S. A. de C. V.; México.
- Simon, Herbert A., 1979, **El Comportamiento Administrativo. Estudio de los Procesos de Adopción de Decisiones en la Organización Administrativa**; Ed. Aguilar, Economía de la empresa; Argentina.
- Taha, H. A., 1997; **Investigación de operaciones. Una introducción.**; Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.; México.
- Thierauf, F. J. & Grosse, R. A. , 1970; **Decision Making through Operations Research**; Ed. John Wiley & Sons, Inc.; USA.