

SIMULACIÓN: CONCEPTOS Y EVOLUCIÓN

Hiram Ruiz Esparza González*, Felipe De Jesús Martínez Álvarez**
Germán Sergio Monroy Alvarado***

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco,
Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, México D.F. C.P. 04960,
Tel. 5483-7100(01), Fax 5483-7235

*Profesor del Depto. Producción Económica, DCSH, UAM-X y Profesor -Facultad de Ingeniería, UNAM
.hiramr@servidor.unam.mx ,

**Profesor-Investigador del Depto. Producción Económica, DCSH, UAM-X, fjmaral@correo.xoc.uam.mx

***Profesor-Investigador del Depto. Producción Económica, DCSH, UAM-X mags4432@correo.xoc.uam.mx

Resumen

En esta ponencia se presenta una descripción de la evolución histórica y conceptual de la técnica denominada “simulación”, considerada ésta como un avance científico y tecnológico de gran impacto en las actividades para generar conocimiento, y enfrentar algunos problemas que surgen tanto para el mejoramiento de la eficiencia y eficacia de la administración de las organizaciones, como en muchos otros contextos caracterizados por la complejidad y dinámica que presentan; sin embargo, al término también se le asocia con otras definiciones de uso común, por lo que el objetivo que se persigue con este artículo es puntualizar la acepción primeramente señalada, para destacar la diferencia y ventajas que tiene en relación con los usos que popularmente se le dan y, en ese sentido, se esboza un ejemplo de su aplicación a la solución de un problema con tales características, para ejemplificar su potencialidad.

Palabras Claves:

Simulación, conceptualización, evolución

INTRODUCCIÓN

Debido a que el término “simulación” tiene diferentes acepciones, el objetivo de este trabajo es distinguir entre aquellas que se utilizan de manera generalizada, que podríamos llamar “popular”, y la que nos interesa destacar, que es la que la inscribe como técnica científica.

Comenzamos por decir que, entre las distintas definiciones que existen del término “simulación”, desafortunadamente la más difundida y generalizada, es la que se relaciona con la idea de que “simular” es sinónimo de fingir, disimular, pretender causar o tratar de causar, parecer lo que no se es, parecer falsamente para engañar, falta de sinceridad, falsedad, hacer creer, asumir o tomar la apariencia, forma o características que no se tienen, se finge, se disimula, y se imita lo genuino, para defraudar.

Ese significado penetra ampliamente la administración de las organizaciones, al estar estrechamente relacionado con las características psicológicas y sociales de las personas, que inciden en su conducta ya que, consciente o inconscientemente, con la simulación se intenta fingir lo que no se es, lo que no se tiene, lo que no se hace, y se disimula, para escapar del castigo o para lograr un objetivo determinado. Fingir y mentir incide, sin lugar a dudas y de manera significativa, en el funcionamiento de las organizaciones.

La condición humana se debate siempre en el discernimiento entre la dicotomía, entre la polaridad, en el espectro continuo entre la verdad y la mentira y para evolucionar, creemos que es mejor reconocer y cuestionar de manera continua y permanente nuestros modos de percibir, pensar y actuar.

En la administración de las organizaciones, para evolucionar de mejor manera es necesario dedicar esfuerzos sistemáticos y sistémicos para descubrir, hacer explícitos y evaluar las consecuencias de los comportamientos que conllevan engaño, falsedad o mentira y al mismo tiempo descubrir y hacer explícitas las acciones que coadyuvan en la búsqueda y uso de la verdad.

Desafortunadamente, a pesar del impulso de políticas públicas y acciones sobre la “transparencia”, muchas de las áreas de relaciones públicas, de los modos de comunicación interna de las organizaciones públicas, privadas y sociales, la propaganda, la publicidad, la mercadotecnia y los medios, parecen contribuir más a la simulación que fingir y mentar; comportamientos, datos e información que dan la apariencia sólo del éxito y de la alta calidad de los procesos y productos; en muchas ocasiones se actúa creyendo que el repetir una mentira la hará convertirse en una verdad, aunque todos perciben que la diferencia entre lo que se dice o propaga y la realidad es significativa; además, se sabe que nunca dos medias verdades harán una verdad.

Muchos de los enunciados tan de moda de misión y visión de las organizaciones, presentadas y difundidas como muestras de que se hace planeación estratégica, resultan trivialidades, verdades de Perogrullo, que en poco ayudan para crear una identidad de la organización, y menos aún, para orientar las acciones que permitan enfrentar con eficacia la operación y el futuro de la misma.

Muchas palabras escritas o pronunciadas sobre las actividades y resultados de la administración de las organizaciones, a pesar de ser arropadas por una deslumbrante retórica, generalmente sólo resultan demagogia, mentira, engaño, simulación que fingir y trata de encubrir la verdad.

Por su parte, la “Simulación”, como técnica científica, se utiliza principalmente para el análisis y diseño de sistemas complejos y dinámicos de la realidad, ya que con sus principios, fundamentalmente intuitivos, permite la creación de escenarios de los sistemas, en los que se pueden explorar y experimentar diversas situaciones sin tener que afectar de manera directa la realidad sobre la que se busca actuar para mejorarla. El uso de otros procedimientos o técnicas para abordar tales situaciones, en general es más difícil, y a veces resulta poco factible; por el contrario, la aplicación de la simulación permite ahorrar tiempo y recursos.

Es por ello que insistimos en que el uso de la “simulación”, como técnica científica, puede contribuir a la búsqueda de soluciones a problemas complejos que se presentan, entre otros campos, en la administración de las organizaciones.

Para apoyar nuestra insistencia, en el siguiente apartado se presenta, de manera resumida, el desarrollo de la simulación, como técnica científica.

UNA BREVE RESEÑA DE LA EVOLUCIÓN

En la ciencia y la tecnología, el concepto de “simulación” surge, desde hace más de cincuenta años, en actividades conocidas como la investigación de operaciones u operacional, las ciencias de la administración, el análisis de sistemas y la ingeniería de sistemas, entre otras (Churchman, Ackoff, and Arnoff: 1957; Flagle, Huggins and Roy: 1960; Ackoff: 1961).

En esas actividades (Ackoff: 1962), sus procesos para generar conocimiento o resolver problemas, destacaron la necesidad de construir un “modelo”, considerando a éste como una “representación de la realidad”. Esa representación será la que, de ser posible, se manipulará y no la “realidad”, para explorar el conocimiento y la solución buscada. El modelo es un sustituto de la realidad, al no deber o no poder manipular la realidad misma.

Los modos que esas actividades utilizan para generar el conocimiento u obtener la solución, dependen, entre otras cosas, del tipo de modelo que se pueda construir. A pesar de que se pueden distinguir distintos tipos de modelos, como los icónicos, los analógicos, los simbólicos y los matemáticos, en general se puede decir que los modos utilizados se pueden agrupar en dos grandes tipos de procesos: deductivos o inductivos.

Los modos deductivos, también conocidos como analíticos, son aquéllos en que los modelos permiten aplicar las reglas de deducción establecidas con prelación, como las establecidas por la lógica matemática, reconociendo que pueden existir distintos métodos deductivos.

En el proceso evolutivo de la simulación, se observó que, ante la imposibilidad de usar un modo deductivo, los inductivos sí permitían manipular el modelo de otra manera, para que a través de la experimentación en el modelo se generaran conocimientos o aproximaciones a la solución. Estos modos inductivos, a su vez, se subdividen en dos tipos: el primero, denominado iterativo, en el que a partir de una observación obtenida del modelo, se encuentra una nueva observación que mejora la anterior y se continúa así, a través de diversas iteraciones, hasta llegar a la más adecuada o conveniente. El segundo modo, es el que enfatiza la experimentación en el modelo de manera más amplia, y es el modo que se identifica de manera general como “simulación”.

La “simulación” es un modo de usar un modelo (Ackoff and Sasieni: 1968); es experimentar en un modelo, en vez de hacerlo en la “realidad” misma, porque experimentar en la realidad misma puede ser imposible, impráctico o inapropiado, por lo que se dice que la “simulación” es una experimentación “vicaria”; es decir, que hace las veces de otra, que simula, que finge, que disimula ser otro.

En la simulación, una vez construido un modelo y ante la imposibilidad de su manipulación con un modo deductivo o iterativo, es necesario diseñar un experimento que será aplicado en el modelo, para que de este modo se genere o se obtenga una solución. Al conducir una experimentación amplia en el modelo, se dice que la simulación “imita” la realidad, lo que permite construir una imagen dinámica de la misma; en otras palabras, se duplica su esencia, sin afectarla.

Desde los años cuarenta del siglo pasado, con la creación y puesta en funcionamiento de las primeras computadoras digitales y analógicas, se comenzó una etapa de desarrollo con la interacción entre el uso de procesos deductivos e inductivos de modelos y la computación. La simulación no escapó a esos desarrollos, surgiendo así la simulación digital y analógica.

La simulación sin computadoras también se ha desarrollado, por ejemplo, usando modelos icónicos, como es el caso de la simulación, en tiempo real, de las acciones en los campos de batalla en una maqueta de los mismos, durante la Segunda Guerra Mundial, o cuando se ha experimentado también en una maqueta de un sistema hidráulico, representando una represa y canal de desfogue, para estudiar el posible comportamiento bajo diferentes circunstancias. Un

ejemplo de simulación usando un modelo analógico, es el caso del uso del modelo hidráulico MONIAC (MONetary National Income Analogue Computer), de la economía británica, desarrollado en 1949. De ahí que los avances en la computación digital han impulsado el avance de la simulación, usando esa tecnología.

Una de las primeras aplicaciones de la simulación fue la que con el uso de determinados aparatos, ciertas instalaciones y un equipo de cómputo, se simuló un fenómeno y se reprodujo el funcionamiento de una máquina o vehículo, como el simulador de vuelo de una aeronave, el cual ha sido utilizado para el entrenamiento de pilotos.

La simulación digital comenzó a llevarse a cabo, utilizando para programar, el lenguaje binario, denominado *lenguaje de máquina*, complementada con la aparición de lenguajes de programación de alto nivel de propósito general como el FORTRAN y el ALGOL, que facilitó su desarrollo (Hertz and Eddison: 1965; Aronofsky: 1969; Emshoff and Sisson: 1970).

Al considerar que las computadoras digitales, pueden en general caracterizarse por basarse en circuitos electrónicos manejando estados binarios para llevar a cabo operaciones aritméticas y lógicas, funcionando de manera *discreta*, se dice que estas máquinas pueden programarse para realizar procesos de *simulación digital discreta*.

La *Simulación Monte Carlo* surgió a partir de que Stanislaw Ulam y John von Newman (Ulam: 1951; Meyer: 1956), introdujeron el término *Monte Carlo* para denominar su propuesta de técnica matemática para resolver un problema determinístico, no probabilístico, en el que no es factible o es imposible calcular un resultado exacto con un algoritmo determinístico, analítico, por lo que propusieron para obtener una solución aproximada, modelar un experimento en una computadora usando la probabilidad y la aleatoriedad.

Desde entonces, los métodos de simulación o experimentación Monte Carlo devinieron un tipo de algoritmos computacionales que descansan en la repetición de muestreos aleatorios para calcular resultados aproximados. Por su dependencia en la repetición computacional de números aleatorios o pseudos aleatorios, estos métodos han llegado a ser los más apropiados para cálculos computacionales, a fin de obtener soluciones aproximadas probabilísticas para problemas determinísticos en los que no es posible obtener una solución exacta.

Con los significativos avances alcanzados en la computación digital y el desarrollo de sistemas y lenguajes computacionales especializados, que al mismo tiempo son poderosos y amigables, diversas actividades científicas, tecnológicas y profesionales se han visto enriquecidas, dentro de las que destaca la simulación.

De entre los lenguajes y sistemas especializados de la computación digital para la simulación discreta, destacan el SIMSCRIPT (Markowitz, Hausner and Karr: 1962), GASP (Pritsker: 1973), el General Purpose Simulation System GPSS (Schriber: 1974)

Las computadoras analógicas, al usar las características cambiantes de manera *continua* a través del tiempo, de fenómenos en elementos físicos, eléctricos y electrónicos, que se *programan*, estableciendo interrelaciones, interconexiones, entre esos componentes, permiten la representación e interacción de variables continuas, posibilitando el despliegue, la cuantificación y medición de esas variables a través del tiempo. De esta manera, se tiene la posibilidad de lo que se denomina *simulación continua*, en contraste con lo que las computadoras digitales permiten, la *simulación discreta*.

Al incrementar sus capacidades de almacenamiento y velocidad para hacer operaciones, las computadoras digitales han llegado a lograr que la simulación discreta se pueda aproximar a la continua.

Desde los años cincuenta, Jay W. Forrester también comenzó a proponer la consideración del estudio de la dinámica de sistemas y el desarrollo de lenguajes especializados para simular sistemas continuos en computadoras digitales; así, a partir del desarrollo del lenguaje *DYNAMO* (DYNAMIC MODELS), se han abordado la simulación dinámica industrial, la urbana y la mundial, entre muchas otras (Forrester: 1961, 1969, 1971).

Esos desarrollos se han visto ampliados y se han hecho de acceso más fácil al relacionarse con los lenguajes computacionales de programación con orientación a objetos como SIMULA, lo que ha permitido el desarrollo de sistemas de simulación como el STELLA y el I THINK, permitiendo que la simulación de sistemas complejos y dinámicos se convierta en una herramienta poderosa y amigable.

Puede decirse que todas estas posibilidades han permitido construir modelos y simular sistemas complejos y dinámicos, así como computarizar distintos tipos de modelos, lo que ha llevado a potenciar cada vez más el uso de la simulación.

La simulación de sistemas complejos y dinámicos, donde algunos procesos de decisión se llevan a cabo con la participación de una o más personas que toman esas decisiones e interactúan con una computadora que realiza los cálculos necesarios de la simulación, es lo que se denomina: *juegos operacionales*.

La construcción de un modelo del funcionamiento de una organización y su automatización, computarizándolo, ha permitido que la simulación sea un instrumento poderoso y eficiente para generar conocimiento, tener una percepción anticipada de las consecuencias que podrían presentarse en la realidad, al hacer uso de cierto conocimiento o implantar una solución para tratar de resolver problemas e incluso para el entrenamiento de administradores.

UN MODELO CONCEPTUAL SOBRE LA SIMULACIÓN

Se ha definido a la simulación, en general, como la experimentación en un modelo y, a la digital, como aquella en que es posible “introducir” el modelo en una computadora digital, utilizando algún lenguaje apropiado para ello.

Al aproximarse a alguna parte de la realidad en que acontecen fenómenos o existen problemas, el proceso para poder llevar a cabo una simulación que coadyuve a generar conocimiento o soluciones, requiere la realización de ciertas etapas, como las que conceptualizamos a continuación:

- Construcción del modelo susceptible de poder ser “introducido” en una computadora digital
- Introducción del modelo a la computadora, usando un lenguaje apropiado
- Diseño del experimento y aplicación del mismo en el modelo computarizado
- Estudio y análisis de los resultados

- Implantación y control de alternativas de solución en la realidad, o del conocimiento generado

Estas etapas, por lo general se llevan a cabo en el orden que se menciona en la figura 1 (Fig. 1), pero es indispensable reconocer que al realizar cada una de ellas, es necesario tomar en cuenta a las otras, para mantener una aproximación sistémica de todo el proceso; es por esto que una representación del mismo, un modelo conceptual de dicho proceso, puede representarse como el que se propone en la Figura 2 (Fig. 2).

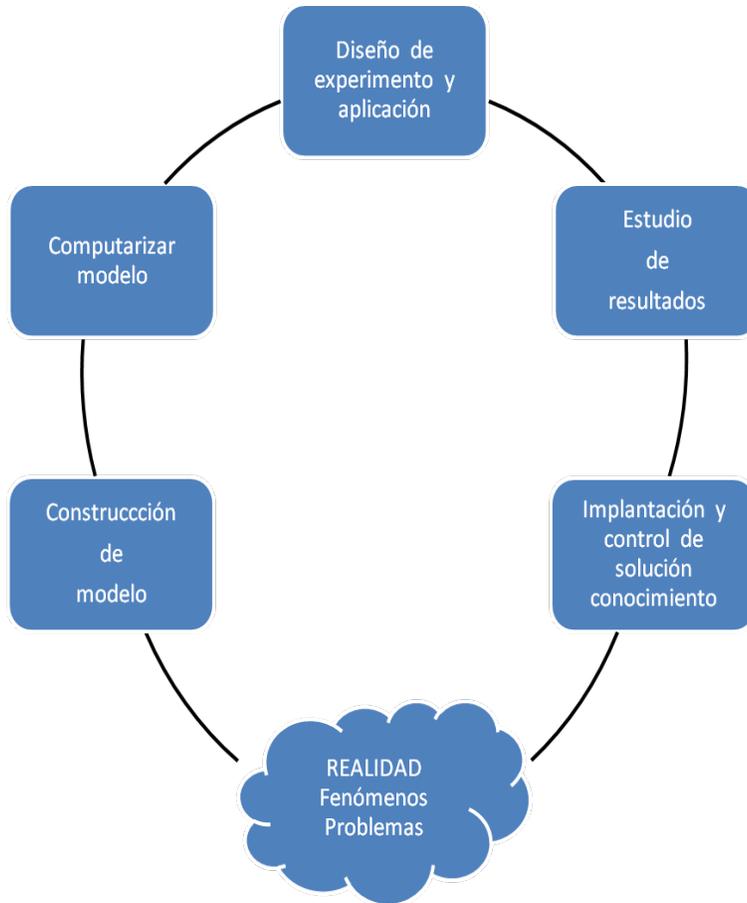


Fig. 1

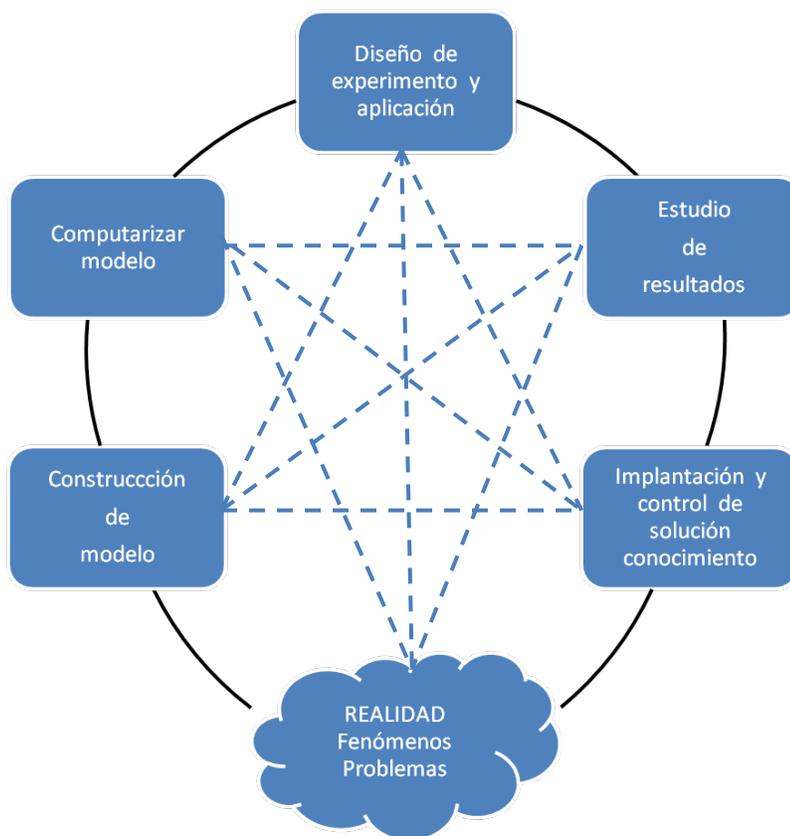


Fig. 2

SIMULACIÓN DE UN PROBLEMA EN LA INDUSTRIA DELA CONSTRUCCIÓN

Para ejemplificar algunos de los conceptos antes descritos sobre la simulación, en esta sección se presenta de manera resumida la aplicación de la simulación para la resolución de un problema típico de la industria de la construcción.

Buena parte de las tareas que se deben realizar en una obra civil, conllevan características de interrelación y aleatoriedad, lo que hacen que el desarrollo de la misma, dependa de ellas; sin embargo con la simulación se puede estimar la posible duración de la obra y determinar la manera en que se van requiriendo y usando los insumos necesarios, lo que permite una mejor forma de llevar a cabo el desarrollo y control de la misma.

El proceso de construcción de una obra civil, depende en gran medida de los recursos humanos; es decir, de las capacidades y habilidades de los trabajadores, así como de la maquinaria y los materiales que se van a utilizar. Lo que la obra requiere, varía dependiendo de las características de la misma. Para llevar a cabo la simulación de esta situación, se construyó un modelo en el que se utilizó el lenguaje computacional STELLA; en la Figura 3 anexa se presenta, de manera simplificada, dicho modelo, con el que se pudieron llevar a cabo experimentaciones, que produjeron resultados, algunos de los cuales se muestran en las Gráficas 1, 2 y 3 anexas, lo que permitió un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema, y el tomar decisiones que facilitaron llevar a cabo la obra con un mejor seguimiento de los avances y uso de los recursos.

CONCLUSIÓN

Este artículo comenzó con una reflexión acerca del término “Simulación”, reconociendo que tiene diversas acepciones que podrían resumirse en dos grupos; por una parte, aquellas que se refieren al dolo, la mentira, el engaño, y a otras formas de defraudar; y, por la otra, la acepción científica tecnológica, que coadyuva a la búsqueda de la verdad; acepción surgida de la Investigación de Operaciones, o Ciencias de la Administración, que entiende a la simulación como proceso para construir representaciones de la realidad y experimentar en ellas, para generar conocimiento o resolver problemas.

Se comenta que, desafortunadamente, la acepción más difundida es la que se refiere al primer grupo, y ha llegado a permear en organizaciones tanto públicas como privadas que, con el propósito de obtener aceptación en la sociedad, simulan ser lo que no son, a pesar de los esfuerzos por lograr una fingida transparencia en los dichos y en los hechos.

Pero, como lo señalamos más arriba, el objetivo de este artículo fue enfocarse al segundo grupo, destacando la importancia de construir modelos, en los que la simulación permite experimentar con la realidad, sin manipularla directamente; es decir, de manera fingida o vicaria, para, así, buscar el conocimiento y explorar la solución buscada.

Para finalizar el artículo, se ejemplificaron algunos de los conceptos sobre simulación que en él se describen, y se presentó un ejemplo de su aplicación en la solución de problemas, en un caso típico de la industria de la construcción.

En resumen, podemos concluir que la actitud científica de indagación, reconociendo la existencia de dos caras de la Simulación, enfatiza el proceso que coadyuva a la búsqueda de la verdad; y, con la descripción de su conceptualización, su evolución, y su aplicación a un caso de la industria de la construcción, pretendemos generar en el lector la curiosidad de incursionar y desarrollar esta forma de análisis y diseño, que lo lleve a reconocer la existencia de una infinidad de posibilidades de desarrollo en cualquier área del actuar científico o profesional.

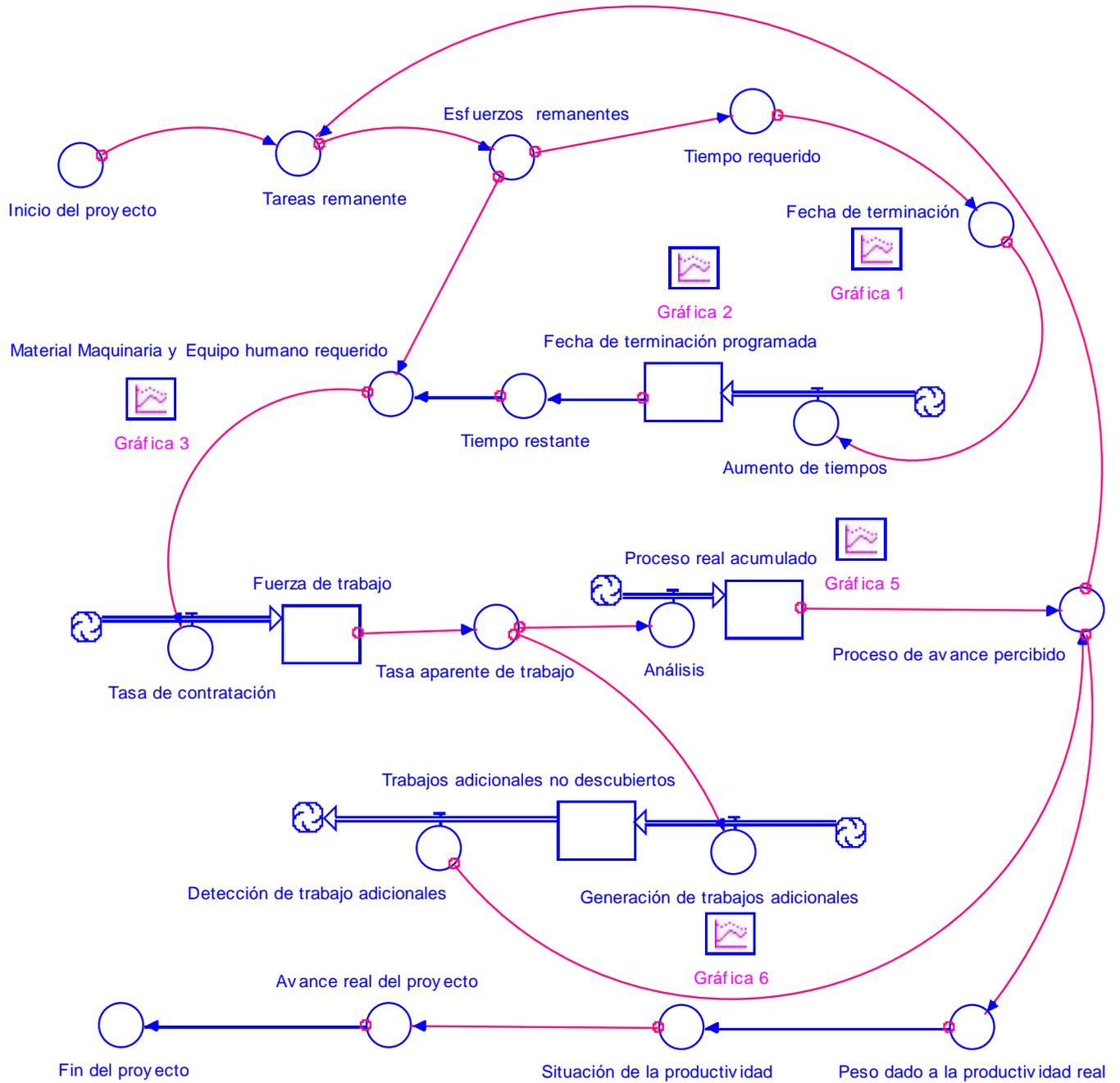
BIBLIOGRAFÍA

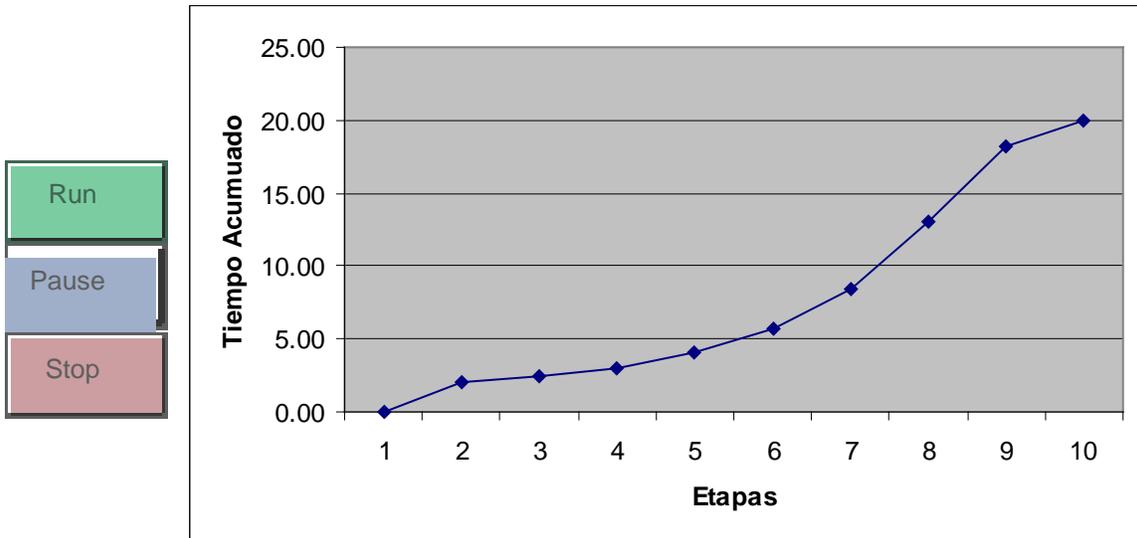
- [1] Ackoff, R.L., (Ed.), *Progress in Operations Research*, Vol.1, Wiley, N.Y., 1961.
- [2] _____, *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, Wiley, N.Y., 1962.
- [3] _____, and M.W. Sasieni, *Fundamentals of Operations Research*, Wiley, N.Y., 1968.
- [4] Aronofsky J.S., (Ed.), *Progress in Operations Research*, Vol.III, Wiley, N.Y., 1969.
- [5] Bellman, R. and Smth, C.P., *Simulation in Human Systems: Decision-Making in Psychoterapy*, Wiley, N.Y., 1973
- [6] Celler, F.E., *Progress in Modeling and Simulation*, Academic Press, N.Y., 1982.
- [7] Churchman, C.W., R.L. Ackoff, and E.L. Arnoff, *Intoduction to Operations Research*, Wiley, N.Y., 1957.
- [8] Emshoff, J.R. and R.L. Sisson, *Design and Use of Computer Simulation Models*, 1970.
- [9] Flagle Ch. D., W.H., Huggins and R.H., Roy, *Operations Research and Systems Engineering*, The John Hopkins Press, Baltimore, 1960.
- [10] Forrester, J.W., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA, 1961.
- [11] _____, *Principles of Systems*, Wright-Allan Press, Cambridge, MA, 1969.
- [12] _____, *Urban Dynamics*, Productivity Press, Oregon, 1969.
- [13] _____, *World Dynamics*, Productivity Press, Oregon, 1971.
- [14] Gordon, G., *System Simulation*, Prentice Hall, Englewoods Cliffs, 1979.

- [15] Kresnow, H. S. and R.A., Merikallio, “The Past, Present, and Future of General Simulation Languages”, *Mgmt. Sci.*, XI, pp 236 267, Nov. 1964.
- [16] Hertz, D.B., and R.T. Eddison, *Progress in Operations Research*, Vol. II, Wiley, N.Y., 1965.
- [17] Hoggart, A.C., “An Experimental Business Game”, *Behavioral Science*, 4, pp. 192 203, 1959.
- [18] Law Averill, M. & Kelton D., *Simulation Modeling and Analysis*, Mc. Graw Hill, N.Y., 1982.
- [19] Meyer, H.A., *Symposium on Monte Carlo Methods*, Wiley, N.Y., 1956.
- [20] Morabito, J., Sack I., and Bhate, A. *Organization Modeling*, Prentice Hall, N.J., 1999.
- [21] Markowitz, H., Hausner, B., and Karr, H., *SIMSCRIPT: A simulation programming language*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1962
- [22] Naylor, T.H., *Simulation Models in Corporate Planning*, Praeger Pub, N.Y., 1979.
- [23] Payne, J.A., *Introduction to Simulation. Programming Techniques and Methods of Analysis*, Mc. Graw Hill, N.Y., 1982.
- [24] Pritsker, A., *The Gasp-IV Simulation Language*, John Wiley & Sons, N.Y., 1973.
- [25] Richardson, G. & Pugh, A., *Introduction to System Dynamics Modeling, with Dynamo*, MIT Press, Cambridge, Mass, 1981
- [26] Schriber, J.T., *Simulation using GPSS*, John Wiley & Sons, N.Y., 1974.
- [27] Spriet, J.A. and Vansteenkiste, G.C., *Computer-Aided Modelling and Simulation*, Academic Press, N.Y., 1982.
- [28] Thomas, C.J. and Deemer, W.L., Jr., “The Role of Operational Gaming in Operations Research”, *Ops. Res.*, 5, pp1 27, 1957.
- [29] Tocher, K.D., *The Art of Simulation*, D. Van Nostran, Princeton, N.J., 1963.
- [30] _____, “Review of Simulation Language”, *Opnal. Res. Quart.*, 16, No. 2. pp. 189 218, 1965.
- [31] Ulam, S., “On the Monte Carlo Method”, *Proc. Second Symposium on Large Scale Digital Calculating Machinery*, 1951.
- [32] Watson, H.J., *Computers Simulation in Business*, Wiley, N.Y., 1981

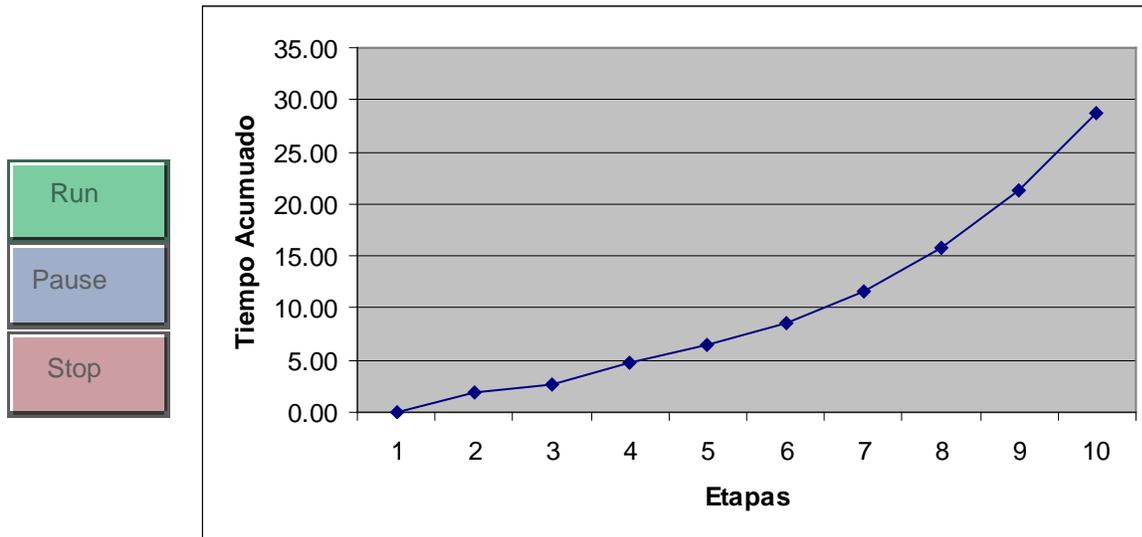
ANEXO

Fig. 3



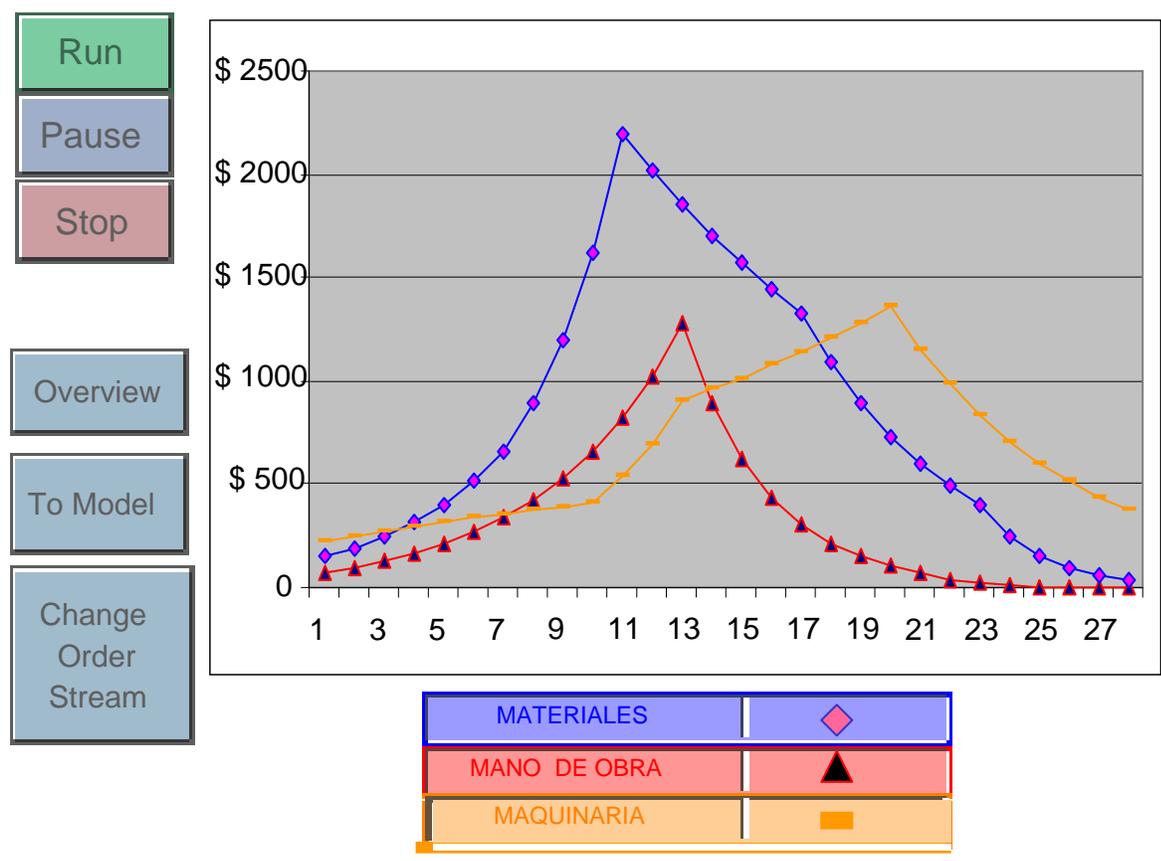


Gráfica 1. La gráfica presenta el tiempo requerido de la obra, con la información disponible hasta ese momento.



Gráfica 2. Esta segunda gráfica se obtuvo tras haber descubierto y considerado aumentos en los tiempos, debido a que no se contemplaron algunas actividades que son necesarias, pero que no fueron contempladas desde el inicio de la misma, por lo que aumenta el tiempo de la obra, llegando a 28 meses de trabajo en vez de las 20 que se habían programado al inicio.

Gráfica 3



En esta gráfica, el eje inferior, que sería el de las “X’s”, representa el tiempo, y el eje izquierdo, que sería el de las “Y’s”, los gastos que se tienen, en miles de pesos, en los cuales destaca que el gasto más elevado de la obra es el de materiales y su mayor erogación se daría en el mes 12, en tanto que la mano de obra llegaría a su mayor utilización en el mes 13, con un gasto considerablemente menor, y la maquinaria tendría su más fuerte intervención en el mes 20, con un gasto ligeramente superior al de la mano de obra.