

LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA EN LA TOMA DE DECISIONES PARA EL INGENIERO INDUSTRIAL.

Estudiante Roxanna Alba Cruz

*1. Universidad de Matanzas, Universidad de Matanzas, sede
«Camilo Cienfuegos», Vía Blanca Km.3½, Matanzas, Cuba.
roxanna.alba@umcc.cu*

Resumen

Es importante para el completo desarrollo del ingeniero industrial conocer las herramientas que se aplican en el mundo laboral, tales técnicas son por ejemplo la simulación de problemas cotidianos mediante modelos matemáticos. Este trabajo tiene como objetivo fundamentar el uso de la simulación como herramienta en la toma de decisiones para la Ingeniería Industrial. Los resultados fundamentales se centran en la obtención de un resumen teórico acerca del valor de una formación de los ingenieros industriales dirigido a la simulación en su campo de actuación.

Palabras claves: Herramientas;ingeniero industrial; simulación.

Introducción

La tecnología de la informática ha permitido el desarrollo de herramientas que ayudan en las organizaciones a tomar decisiones con un mínimo de riesgo, estas herramientas se apoyan en modelos informáticos que representan procesos reales. Una de ellas es la modelación y simulación dinámica de procesos, realizada con software especializado, la cual permite representar sistemas de producción mediante modelos que son simples y fáciles de comprender. (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).

La simulación de procesos es una de las más innovadoras herramientas empleadas actualmente en ingeniería para el análisis de áreas productivas. Es utilizada normalmente para representar un proceso real mediante otro mucho más simple y entendible. La necesidad de su utilización depende del grado de complejidad de los procesos dados por la misma organización (Puche Forte et al., 2005).

Pretende ahorrar costes reduciendo los tiempos perdidos en el proceso y permitiendo la optimización de éste. Además, se produce un ahorro en la fabricación de prototipos y permite ver el funcionamiento antes que se realice el propio proceso, ayudando a descubrir posibles deficiencias en éste antes de causar mayores consecuencias (López Hernández, 2016).

Para el perfil del ingeniero industrial, esta asignatura le proporciona la capacidad para representar analíticamente situaciones que se despliegan en las empresas de manufactura, servicios o gubernamentales, a fin de detectar problemas tales como cuellos de botella o sobredimensionamiento y contar con elementos para elaborar propuestas de mejora para los sistemas bajo estudio, considerando criterios técnicos, económicos, de sustentabilidad, así como de responsabilidad social.

Esta asignatura agrupa conceptos de las materias de Matemáticas II, Estudio del Trabajo I, Probabilidad, Estadística Inferencial I y II, Algoritmos y Lenguajes de Programación, Ingeniería de Sistemas, Gestión de Costos, Investigación de Operaciones II y Desarrollo Sustentable, por lo cual tiene un enfoque integrador, de gran aporte para el perfil del ingeniero industrial en cuanto a la generación de alternativas, para apoyar la toma de decisiones orientadas a la mejora de sistemas productivos y de servicios, fundamentadas en planteamientos y modelos analíticos.

El objetivo general de este trabajo es fundamentar el uso de la simulación como herramienta en la toma de decisiones para el ingeniero industrial; por lo que se espera que las conclusiones de esta revisión sean beneficiosas para las comunidades académicas y profesionales, interesadas en la simulación con una visión gerencial.

Desarrollo

1-Fundamentos de la simulación



1.1-Antecedentes de la simulación.

La palabra simulación fue utilizada por primera vez en 1940 por Van Newman, cuando participaba en el proyecto Montecarlo durante la II Guerra Mundial. Tal técnica fue implementada en la resolución de problemas de reacciones nucleares. A partir de dicho logro, se amplió su espectro de aplicación. Es así como recientemente, en varios países en Desarrollo, se ha utilizado esta técnica, en realización de estudios para la Formulación y Evaluación de políticas gubernamentales con el propósito de promover un mayor desarrollo (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).

La simulación está estrechamente ligada a la historia de la ciencia computacional y ha tomado gran auge desde mediados del siglo XX específicamente en el período comprendido entre 1955 - 1960 cuando la simulación estaba en manos de unos cuantos por el poder tecnológico y económico que implicaba, en este período se requería de programadores-usuarios, porque no existía la figura de éstos últimos como soporte, en general la construcción de modelos de simulación eran creados a partir de lenguajes de programación como FORTRAN y ALGOL entre otros; los cuales corrían solamente en las llamadas mainframes (súper-computadoras) (Möller, 2014; García Dunna, et al., 2006) .

Sin embargo, esta herramienta podría tener sus orígenes desde el momento en que la probabilidad y la estadística formularon experimentos aleatorios, de hecho, un argumento evidente son los trabajos en materia de calidad estadística que fueron efectuados a inicios del siglo XX y donde se incluyó la utilización de generación de números aleatorios para propósitos de experimentación, resultados desarrollados por Shewhart y más tarde popularizados por Edward W. Deming, ambos gurús de la calidad americana (Cantú González et al., 2016).

Hoy en día, la simulación se realiza mediante computadoras y *software* específicos, siendo una poderosa técnica de resolución de problemas reales, se experimenta con un modelo numérico, de tal forma que con los resultados se puede obtener una estimación de las características del sistema (Cantú González et al., 2016).

1.2-Conceptos.

La simulación es la utilización de un modelo de sistemas, que trata de acercarse más a las características de la realidad, a fin de reproducir la esencia de las operaciones reales.

Asimismo, es una representación de un proceso real, mediante el empleo de un modelo o sistema que reaccione de la manera similar a la que reaccionaría uno real, en un conjunto de condiciones dadas. (Coss Bú, 2003).

Existen muchas definiciones de simulación por diferentes autores, dentro de las que se pueden destacar:

Tabla 1: Conceptos de simulación.

Definición	Autor/Año
<p>Simular consiste en reproducir fenómenos reales mediante fenómenos artificiales o parecidos, es esencialmente una analogía, similitud de relaciones o propiedades sin que haya identidad.</p>	<p>(Ríos et al., 2000) pag. 24</p>
<p>Es el proceso de diseñar y desarrollar el modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema.</p>	<p>(Coss Bú, 2003).</p>
<p>La Simulación es una herramienta de ingeniería enfocada a optimizar la toma de decisiones empresariales, la evaluación de inversiones en tecnología, personal e instalaciones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos de la empresa.</p>	<p>(Puche Forte et al., 2005).</p>
<p>La simulación es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con la finalidad de llevar a cabo experimentos numéricos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dichos sistemas en un conjunto dado de condiciones.</p>	<p>(Kelton et al., 2008)</p>
<p>Significa imitar y de esto se trata; se va imitar el comportamiento de un sistema a través de la configuración de un modelo que representa una realidad. La simulación</p>	<p>(Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).</p>

<p>involucra la construcción de un modelo matemático de la situación de la toma de decisiones gerenciales y la utilización de este para estimar el efecto y resultado de una estrategia, lo que a menudo se conoce como análisis de sensibilidad el que es considerado el tipo más simple de simulación.</p>	
<p>La simulación es sin lugar a dudas una probada herramienta para el análisis de los procesos productivos, y consecuentemente un medio de experimentación de las variables involucradas, todo ello para el beneficio de mejorar el desempeño operacional.</p>	<p>(Cantú González et al., 2016).</p>
<p>La simulación es la imitación de la operación de un proceso o sistema real a lo largo del tiempo. El desempeño del sistema real se imita usando distribuciones de probabilidad para generar aleatoriamente los distintos eventos que ocurren en el sistema. Por ello, un modelo de simulación sintetiza el sistema, mediante la construcción de cada uno de sus componentes y evento por evento para hacer una abstracción de la realidad que se aproxime lo más posible a ella. Después se corre el modelo de simulación para obtener observaciones estadísticas del desempeño del sistema como resultado de los diferentes eventos generados aleatoriamente. Como las corridas de simulación por lo general requieren la generación y el proceso de una gran cantidad de datos hace necesario que estos experimentos estadísticos simulados se ejecuten en una computadora.</p>	<p>(Sucasaire Placencia, 2016)</p>
<p>Simulación es la acción de simular, lo que significa representar algo imitando</p>	<p>(Centella y Hornero, 2017)</p>

determinados aspectos de situaciones reales.	
La simulación se ha definido como una representación de lo realizado mediante el empleo de un modelo que, bajo una serie de condiciones dadas reaccionará del mismo modo que la realidad.	(López Pallares y Fontalvo Mercado, 2019)

Existe gran diversidad de definiciones en torno al concepto de simulación, autores como Shannon, Naylor, Maissel por mencionar solo algunos, presentan notables e importantes aportes que en este trabajo han sido de gran fundamento para presentar nuestra definición de simulación: «Simulación, desde su concepto amplio es una representación aproximada a la realidad de un proyecto futuro o sistema existente para su manipulación y análisis de comportamiento con la finalidad de describirlo, resolverlo o mejorarlo».

La simulación de un proceso pretende ahorrar costes reduciendo los tiempos perdidos en el proceso y permitiendo la optimización de éste. Además, se produce un ahorro en la fabricación de prototipos y permite ver el funcionamiento antes que se realice el propio proceso, ayudando a descubrir posibles deficiencias en éste antes de causar mayores consecuencias (López Hernández, 2016).

1.3-Necesidad de la simulación

Se debe recurrir a la simulación cuando el modelo matemático es excesivamente complejo o no se puede abordar por no estar desarrollados los métodos analíticos para su resolución.

Las causas de su complejidad (López Hernández, 2016) pueden ser:

1. En sistemas continuos: es frecuente que haya variables de estado que representen el cambio de otras variables de estado, como por ejemplo la tasa de velocidad. En estos casos, la formulación matemática de los modelos lleva a la aparición de ecuaciones diferenciales. Si el sistema es algo complejo, puede que las ecuaciones diferenciales no sean lineales, y, por tanto, su resolución analítica sea difícil o en algunos casos imposible.

2. En sistemas discretos: la aparición de fenómenos aleatorios puede causar complejidad en el sistema. En este caso la formulación matemática del modelo contiene relaciones en las que aparecen funciones de distribución que dificultan su resolución.

1.4-Modelos de simulación

Dados un sistema y un modelo, la simulación consiste en usar el modelo para producir una historia de estados del sistema. La simulación es por tanto un proceso y el modelo usado es

un modelo de simulación. Un modelo de simulación no tiene por tanto una estructura especial y definida como si la tienen por ejemplo los modelos de optimización. Un modelo es de simulación porque es utilizado en este proceso, pudiendo tener cualquier estructura y usarse luego con otra finalidad deferente a la de simular. Un modelo de simulación de eventos discretos es estocástico, dinámico numérico y discreto (Cantú González et al., 2016).

Los modelos de simulación son la aproximación que tiene el prototipo con la realidad que se está representando, y estos se clasifican en: (Hoover y Perry, 1989 según (Parra Arango et al., 2005))

- Discretos o continuos
- Determinísticos o estocásticos
- Estáticos o dinámicos
- Con o sin retroalimentación

Discretos o continuos.

Según la variable que utiliza: si es continua se refiere a que puede tomar como valor cualquier número real. Si es discreta, se limita a solo algunos valores específicos o presencia o ausencia de un atributo.

Determinísticos o estocásticos

A partir de un grupo de variables pueden predecir valores definitivos. Los estocásticos introducen elementos de incertidumbre y aleatoriedad, por el contrario, los que no tienen entradas aleatorias son deterministas.

Estáticos o dinámicos.

Determinados por el tiempo: si las variables cambian con el tiempo, es dinámico; por el contrario, si los valores no cambian con el tiempo es estático.

Con o sin retroalimentación.

Con retroalimentación el modelo utiliza el valor de salida como nueva entrada, sin retroalimentación no deduce si el valor de salida y vuelve a usarse como valor de entrada.

1.5-Lenguajes de simulación.

Los lenguajes de simulación son paquetes informáticos que incluyen elementos frecuentemente utilizados en cualquier tipo de aplicaciones de simulación. También existe

otra posibilidad a la hora de desarrollar la codificación del modelo, son los simuladores, se trata de paquetes informáticos igualmente, pero que proporcionan elementos de simulación utilizados normalmente en un tipo específico de aplicaciones de simulación, como por ejemplo los procesos de fabricación en una determinada pieza, requiriendo una programación muy reducida o casi nula. Se pierde flexibilidad, pero se gana eficacia y rapidez en el modelado (Fullana Belda y Urquía Grande, 2019).

Para llevar a cabo la ejecución de una simulación en el ordenador, se debe elegir el lenguaje donde programar el modelo creado. Bien un lenguaje de propósito general como puede ser C, BASIC, FORTRAN (Metcalf et al., 2018) o bien lenguajes específicos de simulación.

La utilización de lenguajes de propósito general permite una mayor flexibilidad que ciertos lenguajes específicos de simulación. Estos lenguajes de propósito general, de menor costo, crean un eficiente código del modelo que requiere de un tiempo de ejecución muy inferior al de lenguajes específicos de simulación. Sin embargo, la construcción del modelo es más tediosa y con mayor probabilidad de errores al tener que trabajar en niveles de programación demasiado bajos (García Valdecasas, 2016).

Los lenguajes de simulación permitirán un menor tiempo de codificación, al proveer de elementos orientados a la simulación. Aun así, el tiempo de ejecución será mayor. También proveen de buenas herramientas de detección de errores de forma automática, haciendo más fácil y segura la escritura del código. Su flexibilidad, sin embargo, es mucho mayor que en un lenguaje de propósito general, al igual que el coste del software, al trabajar a un más alto nivel en programación. Algunos de estos lenguajes son:

- GPSS (*General Purpose Simulation System*), desarrollado por Geoffrey Gordeon en el seno de la corporación IBM en 1961 (Popov, 2017).
- SIMSCRIPT II.5, desarrollado por Markowitz y otros en la Corporación Rand en 1962.
- SLAM II (*Simulation Language for Alternative Modeling*), desarrollado por Dennis Pegden y Alan Pritsker en 1979.
- SIMAN (*SIMulation ANalysis*), desarrollado por Dennis Pedgen en 1982.

Figura 1: Simuladores.

Simulador	Tipo de simulador	Campos de aplicación	Atributos sobresalientes	Plataforma	Generación de graficas
 PROMODEL	Eventos discretos.	Procesos manufactura, logística, manejo de materiales, etc.	Animación de modelos bajo estudio, importación de <i>layout</i> CAD, imágenes y fotografías digitales, ofrece simulación basada en diagramas de flujo para procesos de negocio, análisis estadísticos de rendimientos, cuellos de botellas, utilización.	Sistema operativo <i>Windows</i>	3D
 FLEXSIM	Eventos discretos y/o continuos.	Procesos manufactura, eliminación de residuos, manejo de materiales, almacenamiento, minería, logística, cadena de suministro, salud aeroespacial.	Interfaz grafica 3D sobresaliente, importaciones de objetos desde software de diseño (ejemplo: AutoCAD), análisis estadísticos de rendimientos, cuello de botella, utilización etc.	Sistema operativo <i>Windows</i>	3D y 2D
 ARENA	Eventos discretos, continuos, discretos-continuos	Cadena de suministros, Procesos de manufactura, logística, distribución, y almacenamiento y sistemas de servicios.	Ofrece simulación basada en diagramas de flujo para procesos de negocio, animación que incorpora AutoCAD, Visio y otros gráficos	Sistema operativo <i>Windows</i>	Si, para diseños estadísticos y analiza aspectos que son parte del estudio 2D y 3D

Fuente: Elaboración propia

1.6-Ventajas y desventajas de la simulación:

Cuando se va a decidir si hacer o no una simulación hay que tener en cuenta dos puntos importantes; cuanto tiempo se le va a dedicar a hacer este y que tan caro puede ser para la empresa. Con estos puntos tomados en cuenta se tiene que ver si es conveniente hacer la simulación o es mejor hacer un modelo analítico.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1- Suple la experimentación física y convencional, cuando ella no es factible por diversas razones.	1-En situaciones complejas puede requerir equipo costoso y puede tardar mucho tiempo para desarrollarse
2-Permite analizar numerosos efectos al realizar diversas alteraciones.	2-No genera soluciones óptimas para los problemas
3-Permite incluir elementos de incertidumbre, admite preguntas del tipo ¿qué pasaría si...?	3-No produce respuestas por sí mismo, el usuario debe generar las condiciones y restricciones.
4-Tiempos rápidos de respuesta	4-Es una aproximación del sistema real.
5-Facilita el entrenamiento de personal y la enseñanza-aprendizaje de sistemas complejos y análisis diversos.	5-Requiere de equipo computacional y el conocimiento de algún software de simulación y saberlo aplicar.
6-Permite experimentar con situaciones nuevas y anticipar resultados. Es un enfoque de ensayo y error que puede generar diferentes soluciones.	6-Es un enfoque de ensayo y error que puede generar diferentes soluciones.
7-Permite el estudio de un sistema largo en un periodo de tiempo muy corto.	7-Consumo de grandes cantidades de recursos técnicos y humanos durante un tiempo largo.

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse las desventajas son agregadas con la intención de equilibrar el análisis, sin embargo, debe entenderse que utilizar la herramienta de simulación es un medio para reproducir un acercamiento de la realidad, más no para suplirla completamente, luego entonces ante tal postulado siempre será conveniente si se emplea de manera adecuada.

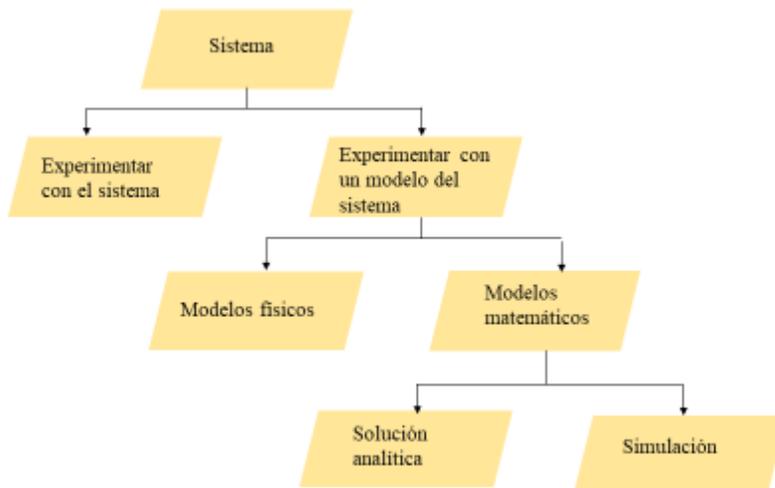
1.7-Procedimiento de la simulación

Es el principal concepto que se tiene que comprender, este es representado por la visión teórica y la acción experimental de una manera general, donde usando una metodología establecida (Figura 1) (Puche Forte et al., 2005).

Comenta Raúl Coss Bú, que:

Las primeras etapas de un estudio de simulación se refieren a la definición del sistema a ser modelado y a la descripción del sistema de términos de relaciones lógicas de sus variables y diagramas de flujo (Coss Bú, 2003).

Figura 2: Definición de Sistema.



Fuente: Elaboración propia

Cuando un proceso industrial está sometido a estudio existen básicamente dos formas para realizar el análisis (Puche Forte et al., 2005). Se puede experimentar con el sistema real, o se puede experimentar con un modelo del sistema. La experimentación con el sistema real crea bastantes problemas en su utilización debido al coste de las pruebas correspondientes y a la logística del propio proceso. Un método lo suficientemente bueno es crear y estudiar un modelo del sistema.

Los modelos de los sistemas a simular se pueden dividir en 2 grandes bloques que se detallan a continuación: modelos físicos y modelos matemáticos.

Los Modelos Físicos

Un modelo físico es una maqueta, o la recreación del sistema real. Los ejemplos de modelos físicos son simuladores de túneles aerodinámicos, modelos en miniatura, tanques de gravedad, etc. La mayoría de los sistemas de la fabricación son difíciles de modelar con modelos físicos debido a la interacción dinámica de los elementos involucrados.

Los Modelos Matemáticos

Los modelos matemáticos son usados para predecir o determinar las relaciones cuantitativas de un sistema. La programación lineal, la física y la geometría son los ejemplos de modelos matemáticos. Es decir, un modelo matemático es cualquier modelo que usa cálculos, fórmulas o algoritmos para predecir el comportamiento de un sistema. Están diseñados para ser muy precisos.

Dentro de este tipo de sistemas de modelos matemáticos podemos diferenciar 2 tipos: los modelos analíticos y los modelos de simulación.

Los Modelos Analíticos.

Los modelos analíticos son aquellos que son sacados de una fórmula conocida para obtener la solución. La solución puede ser muy difícil de obtener y puede implicar mucho tiempo y recursos de cálculo. Este tipo de análisis de modelos para obtener ciertas conclusiones es utilizado por personal técnico de ingeniería, matemática, física, etc. por lo tanto la coordinación de los equipos de trabajo suele ser bastante complicada, lo que condicionan que los equipos de trabajo que participan sean costosos.

La construcción de un modelo analítico tiene con frecuencia serios inconvenientes, como son:

El problema de encontrar el modelo de ecuaciones que representen al sistema real.

La enorme dificultad para resolver el modelo.

Los Modelos de Simulación.

Muchos sistemas contienen un número dinámico de algoritmos que interactúan entre sí para los cuales es prácticamente imposible encontrar soluciones mediante modelos analíticos. En estos casos la simulación se usa para predecir los resultados del sistema. La simulación proveerá la respuesta «correcta» además de proporcionar una estimación razonable de comportamiento del sistema. La simulación es el único método posible para modelar sistemas complicados de producción, logística, distribuciones, etc.

En contrapartida a los modelos analíticos, para obtener los modelos de simulación la coordinación de los equipos de trabajo es en general más sencilla y casi siempre más económica. Con esto no se pretende decir que los modelos analíticos sean inútiles, ya que existen cierto tipo de problemas para los cuales se conoce la forma de obtención del modelo, así como la manera de construir un algoritmo eficiente para resolverlo.

La simulación es una herramienta de gran ayuda a la hora de disminuir los riesgos y optimizar la toma de decisiones empresariales, la evaluación de inversiones en tecnología, personal e instalaciones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos de la

empresa. En concreto, presenta importantes posibilidades en su aplicación a instalaciones y procesos industriales, logísticos, de transporte o de servicios.

Los Modelos de simulación permiten profundizar en las variables que afectan más significativamente al funcionamiento de la empresa, analizar sus interacciones y evaluar su impacto global, constituyendo una ayuda inestimable para optimizar los procesos.

1.8-Metodología de la simulación

La simulación se emplea sólo cuando no existe otro método que permita encarar la resolución de un problema. Siempre es preferible emplear una alternativa analítica antes que simular. Lo anterior no implica que una opción sea superior a otra, sino que los campos de acción no son los mismos. Mediante la simulación se han podido estudiar problemas y alcanzar soluciones que de otra manera hubieran resultado inaccesibles (Patino, 2019).

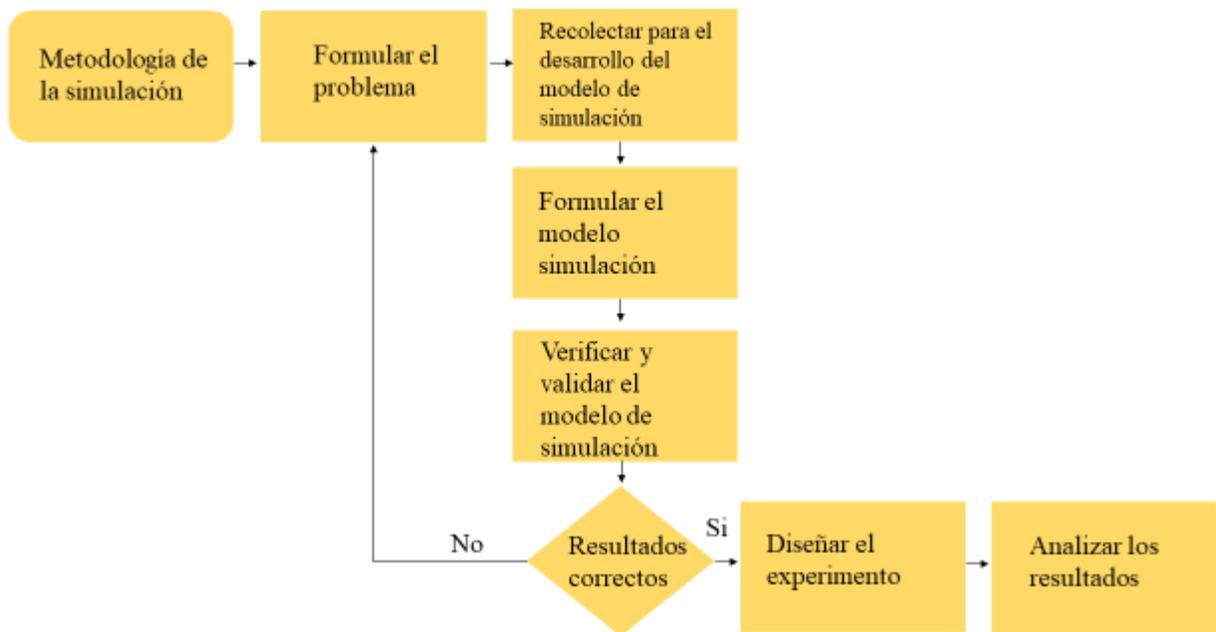
La simulación involucra dos facetas (Patino, 2019):

- 1) Construir el modelo.
- 2) Ensayar diversas alternativas con el fin de elegir y adoptar la mejor, para el desarrollo del sistema real, procurando que sea la óptima o que por lo menos sea lo suficientemente aproximada.

En la planeación de la simulación, es indispensable determinar los pasos a seguir para obtener los resultados deseados desde el inicio en que se ataca el problema, para evitar inconvenientes más adelante.

Para llevar a cabo la simulación del sistema que se quiere estudiar, en general se siguen una serie de pasos (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011)., representados en el siguiente Figura 2.

Figura 3: Metodología de la simulación según (Bolaños Plata, 2014).



Fuente de elaboración propia

No necesariamente se debe seguir paso a paso este procedimiento, ya que este puede ser interactivo para que el modelo se pueda modificar en donde sea necesario (Figura 2), en algunas ocasiones los pasos se pueden repetir cuantas veces se crea necesario para lograr un buen modelo y efectuar la simulación.

1- Formulación del problema

Es necesario definir en primer lugar claramente los objetivos de nuestra investigación, antes de hacer cualquier intento encaminado a planear la realización de un experimento en simulación, Asimismo se encuentra con frecuencia que la exposición original del problema varía considerablemente de su versión final, ya que la formulación del problema es un proceso secuencial que generalmente requiere de una formulación continua y progresiva de los objetivos de experimento durante su realización (Bolaños Plata, 2014).

Esta fase es de gran importancia para poder alcanzar un modelo válido. La formulación del problema requiere de los siguientes pasos (Figura 3):

Figura 4: Formulación del problema.



Fuente: Elaboración propia

Para poder identificar los problemas se puede usar unas preguntas como:

a) “¿Existe un problema? b) ¿Cuál es el marco de referencia del sistema donde se encuentra el problema? c) ¿Cuáles son los componentes controlables del sistema y cuáles no lo son? d) ¿Cuáles son las interrelaciones más importantes del sistema? e) ¿Cómo se emplearán los resultados del proyecto? ¿Por quién? ¿qué efectos tendrá? f) ¿Las soluciones tendrán efecto a corto o largo plazo? g) ¿Podrán los efectos de las soluciones modificarse o cambiarse fácilmente? h) ¿Cuántos elementos del sistema se afectarán por las soluciones del proyecto? ¿En qué grado?”

2-Recolección de datos para el desarrollo del modelo de simulación.

Existen muchos métodos para la toma de datos, desde aproximaciones manuales hasta técnicas de alta tecnología. Hay aplicaciones donde poca precisión en la toma de datos no altera significativamente los resultados obtenidos y otras en las que puede cambiar completamente los resultados. Por tanto, habrá que determinar cuidadosamente el método que más conviene en cada caso (Bolaños Plata, 2014).

La información debe ser: oportuna, relevante y confiable.

Durante la recolección de datos se necesitan los siguientes puntos:

1. Número de entradas del sistema
2. Tiempos entre entradas
3. Operaciones
4. Frecuencias entre operaciones

5. Comportamiento del sistema

El primer paso en la recolección de datos es determinar los datos requeridos por construir al modelo. Este debe estar dictado principalmente por el alcance del modelo y el nivel de detalle requeridos por lograr los objetivos de la simulación. Los datos del sistema pueden ser categorizados como, datos estructurales, datos operacionales y datos numéricos.

-Datos estructurales

Este tipo de datos se refieren principalmente a las locaciones que se analizan en el modelo, los recursos, operarios, operaciones y locaciones. La información estructural describe básicamente el esquema o configuración del sistema, así como identifica los elementos que se procesan. Es importante que todos los componentes relevantes que afectan el comportamiento del sistema sean incluidos.

-Datos Operacionales

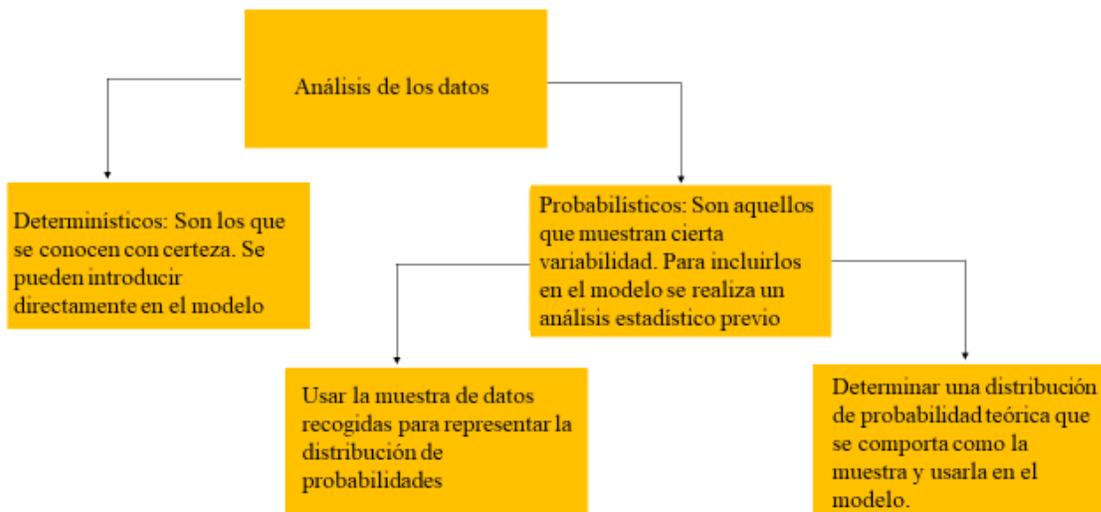
Son aquellos que reflejan los tiempos de producción, las esperas, movimientos de material y producto, explican cómo opera el sistema, es decir, cuándo, dónde, y cómo los eventos y actividades tienen lugar. Los datos operacionales consisten de toda la lógica o información del comportamiento acerca del sistema como asignaciones de ruta, horarios, comportamiento en el tiempo fuera de servicio, y asignación del recurso. Si el proceso está estructurado y bien controlado, la información operacional es fácil de definir. Si, por otro lado, el proceso ha evolucionado en una operación informal sin ningún conjunto de reglas, puede ser muy difícil de definir.

-Datos numéricos

Es la información con la cual se alimenta el modelo, es decir, inventarios, capacidad de las bodegas, tiempos de procesamiento por líneas, tiempos de cargue y descargue, tiempos de transporte, entre otros. Algunos valores numéricos se determinan fácilmente, como capacidades del recurso y horas de trabajo. Otros valores son más difíciles de evaluar, como el tiempo entre fallas o probabilidades de asignación de rutas.

Una vez realizado el muestreo, se procede al análisis de los datos. Pueden ser de dos tipos, como se observa en la siguiente tabla (Figura 4):

Figura 5: Análisis de los datos.



Fuente: Elaboración propia.

3-Formular el modelo de simulación.

El modelo normalmente empieza siendo muy abstracto con respecto al sistema real, pero mientras se va definiendo la relación de los eventos se convierte en un modelo más complejo. Es importante una interacción constante con el usuario del modelo durante el desarrollo del proceso de creación para garantizar que el modelo se mantenga apegado al estudio y de esta manera obtener la credibilidad necesaria para una posterior implementación del mismo.

La exactitud de la información que se usará en el modelo es de gran importancia para obtener resultados confiables. El principal punto para la realización del modelo es obtener los datos y condiciones más relevantes que puedan fundamentar el objetivo del estudio. Lo más importante es tener en claro la relación entre el modelo y el propósito por el cual fue hecho.

Con el programa ya elegido se procesarán los datos recolectados y se espera obtener una serie de resultados deseados, que nos dirá el propio sistema si es factible aplicarlo o no.

4-Verificar y Validar el modelo de simulación.

Para la simulación, la validación consiste en comparar los resultados obtenidos de la operación con el modelo en la computadora contra datos reales, generalmente originados de la experimentación analítica tradicional realizada previamente. En efecto, se puede puntualizar que la principal limitación en el uso de los modelos de simulación radica,

básicamente, en la validación de estos, en consideración a que, en muchas ocasiones, no se dispone de la información experimental pertinente (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).

La verificación es un proceso continuo a lo largo de todo el proceso de simulación. Es necesario esperar hasta que el modelo este totalmente terminado para poder comenzar la verificación. Este proceso es uno de los principales para la confiabilidad de los resultados y el éxito del proyecto.

Los modelos son representaciones numéricas de un sistema que no están sujetas a una sola forma, por ello su validación no resulta muy fácil ya que implica complejidades de tipo práctico, teórico y estadístico.

Este paso debe realizarse en todas las fases del modelado: modelo conceptual, modelo lógico y un modelo de computadora.

En esta etapa se valoran las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real que se está tratando de simular. Las formas más comunes de validar un modelo son:

1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
3. La exactitud en la predicción del futuro.
4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

5-Diseño del experimento de simulación.

En esta fase, es donde tiene lugar el proceso de implementación y desarrollo del programa de computación constituido por las instrucciones que recibe la computadora sobre la secuencia de pasos que deberá seguir durante la ejecución del experimento. En síntesis, la experimentación con el modelo consiste en una serie de ejercicios de computación que permite, primero, eliminar errores en la construcción del modelo y, luego, validarlo pertinente (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).

El objetivo de la experimentación con el modelo es obtener información acerca del comportamiento del sistema que nos ayude en la toma de decisiones. Habitualmente suele ser imposible explorar todas las posibles soluciones, por lo que para obtener la mejor es recomendable seguir alguna estrategia.

6-Analizar los resultados.

El valor más importante de un estudio de simulación no son los resultados finales obtenidos en el modelo. El resultado más valioso es el conocimiento adquirido en el proceso de análisis que permite aportar argumentos cualitativos/cuantitativos justificados a favor en contra de las diferentes opciones de diseño planteadas (García, 2017).

Para conseguir estimaciones útiles la muestra debe ser representativa del comportamiento de sistema y debe ser lo suficientemente grande. El tamaño de la muestra es importante ya que la precisión de las estimaciones depende de la varianza de la media de la muestra, y la varianza cambia de forma inversamente proporcional al tamaño de la muestra (si se cuadruplica el tamaño de la muestra la desviación estándar se reduce a la mitad).

Se pueden realizar dos tipos de análisis con un modelo de simulación:

1. Análisis para sistemas con punto de finalización: la ejecución del modelo finaliza cuando ocurre un evento específico y se toma una muestra por ejecución. Por ejemplo, un banco, abre por la mañana y al final del día cierra, empezando al día siguiente de nuevo desde cero, con el banco vacío.
2. Análisis para sistemas sin punto de finalización (sistemas en estado de equilibrio o estacionario): el interés está en las medias de las medidas de comportamiento de ejecuciones largas, después de que el sistema ha pasado por un periodo de comportamiento transitorio en el que las medidas no son representativas. Por ejemplo, una empresa de coches, no abre ni cierra, deja de trabajar determinados días, pero al volver a abrir continúa el trabajo donde lo dejó.”

Dentro del contexto de la ejecución técnica de la simulación, la interpretación del modelo de simulación resultante, es importante para la toma de una decisión, puesto que es de entender que la computadora no está en capacidad de tomar una decisión, sino que la información que proporciona sí es una ayuda fundamental para la escogencia de la decisión acertada que, de por sí, guía a la obtención de los mejores resultados (Bermúdez Correa y Carreño Dueñas, 2011).

La información del modelo deberá estar bien documentada, es decir, que se lleve un registro de todos los resultados relacionados con el modelo. Esto facilitará la elaboración de reportes y le permitirá al creador del modelo tomar alternativas de mejora.

La utilización de gráficas proporcionadas por la simulación es de gran ayuda para tomar decisiones respecto al problema que se está analizando.

En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación con cuya base se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtiene de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la

computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a obtener mejores resultados.

2-Importancia de la simulación en la ingeniería industrial.

La simulación de procesos es una de las más grandes herramientas de la ingeniería industrial, la cual se utiliza para representar un proceso mediante otro que lo hace mucho más simple y entendible. Esta simulación es en algunos casos casi indispensable. En otros casos no lo es tanto, pero sin este procedimiento se hace más complicado.

2.1-Áreas de aplicación de la simulación.

Desde su aparición, la técnica de simulación ha ocupado un lugar de privilegio entre las herramientas de investigación de operaciones: (Alonso Revenga, 2008).

A continuación, se describen algunas áreas en las que se aplica la simulación como herramienta de ayuda a la toma de decisiones estratégicas u operativas:

Las áreas de aplicación de la simulación son muy amplias, numerosas y diversas, basta mencionar sólo algunas de ellas: análisis del impacto ambiental, análisis y diseño de sistemas de manufactura, análisis y diseño de sistemas de comunicaciones, en la evaluación del diseño de organismos prestadores de servicios públicos como, por ejemplo: hospitales, oficinas de correos, teléfonos, casas de cambio (Sucasaire Placencia, 2016).

También en los procesos de manufactura, sistemas de colas, sistemas de inventarios, proyectos de inversión, simulaciones de vuelo y pruebas aerodinámicas, simulaciones de manejo y choque de automóviles, desastres naturales, estrategias de defensa, distribución de planta, reacciones químicas, etc. (Banks et al., 2005).

La simulación requiere necesariamente el empleo de ordenadores en muchos casos debido a la realización de un número elevado de cálculos. El aumento de la capacidad de los ordenadores y el desarrollo de los paquetes de *software* dedicados a la simulación han hecho que ésta se generalice para el estudio de cualquier tipo de sistema. Algún ejemplo de aplicación de estudio puede ser en sistemas de espera, tráfico de comunicaciones, determinación de reglas de programación de la producción entre otras (López Hernández, 2016).

La simulación en las últimas décadas ha visto aumentar su uso dentro del ámbito industrial y comercial debido, en buena medida, al desarrollo de las computadoras, las cuales constituyen una herramienta valiosa para la aplicación de esta técnica (Bolaños Plata, 2014).

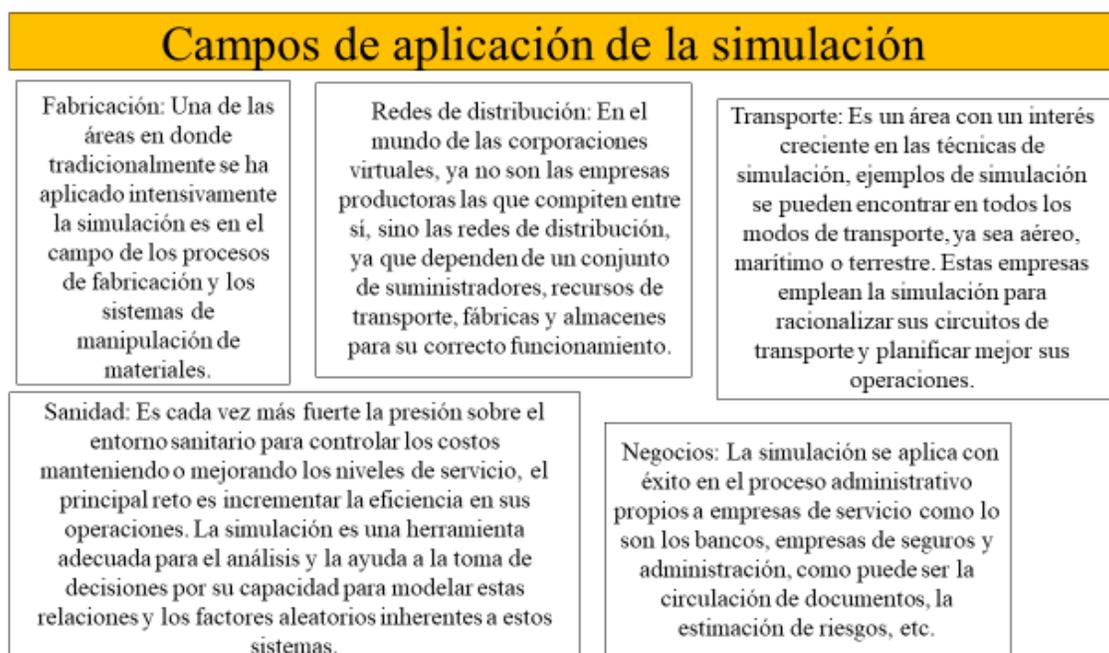
La simulación se puede emplear para el estudio de modelos de inventarios, juegos de negocios, modelos de inversión, flujos de efectivo, Fiabilidad, mantenimiento y

verificación de la calidad, planificación, programación y control de proyectos y otros que suelen ser de gran interés.

El hecho de elaborar y aplicar una simulación acelera la comprensión del negocio del proceso o del sistema y permite explicar, capacitar, mejorar y probar cualquier posible situación o cambio en el sistema.

Con la Simulación, se pueden determinar y observar las fallas que se encuentren o se pudieran presentar en el sistema, ya que la simulación nos permite saber qué es lo que ocurriría en un proceso al modificar una o varias variables y obtener la respuesta a las preguntas ¿Qué pasaría si...? lo que nos permitirá obtener la mejora de resultados y hacer cualquier cambio pertinente en él.

Figura 6: Campos de aplicación de la simulación.



Fuente: Elaboración propia

2.2-Tendencias tecnológicas en las industrias.

Recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. Además de las razones antes mencionadas, Thomas H. Taylor (Pérez Malca, 2018) ha sugerido que un estudio de simulación es muy importante para la ingeniería de sistemas porque presenta las siguientes ventajas en el diseño de estos:

- A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- La técnica de simulación puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.
- En simulación cada variable puede sostenerse constante excepto algunas cuya influencia está siendo estudiada. Como resultado los posibles efectos de descontrol de las variables en el comportamiento del sistema necesitan no ser tomados en cuenta. Como frecuentemente debe ser hecho cuando el experimento está desarrollado sobre un sistema real.

Conclusiones

La simulación es una herramienta de carácter analítico y en especial para el ingeniero industrial que ha tenido un profundo impacto en el campo científico. En la actualidad la simulación se utiliza cada vez más en forma amplia para evaluar los proyectos grandes y riesgosos que involucran millones de dinero. Queda de manifiesto que la utilización de la simulación en los procesos de manufactura sin lugar a duda es una herramienta de gran aprovechamiento para el desempeño operacional. Gracias a la simulación es posible tomar decisiones sobre probables cambios a efectuar en los procesos de manufactura sin tener que generar cambios físicos que puedan entorpecer las operaciones. El uso de la simulación de procesos mejora la eficiencia, incrementa la moral en el lugar de trabajo y en general contribuye al desempeño operacional. Para futuros trabajos se recomienda ampliamente efectuar ejercicios complejos de simulación donde puedan ponerse en prueba variables críticas de la operación, también dar continuidad al presente trabajo para el beneficio de agregar elementos de justificación sobre el uso de la herramienta de simulación.

Referencias bibliográficas

ALONSO REVENGA, J. M., Flujo en Redes y Gestión de Proyectos. Teoría y Ejercicios Resueltos. *Editorial Netbiblo*, 2008.

BANKS, J.[et al.]. Discrete-Eventsy System Simulation. Upper Saddle River, NJ, USA: *Prentice Hall*, 2005.

BERMÚDEZ CORREA, L. T. y CARREÑO DUEÑAS, D. A., Hacia el uso de la simulación como herramienta para el análisis de proyectos de inversión. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 2011. Vol. 1 pp. 40– 52.

BOLAÑOS PLATA, O.. *Importancia de la simulación en la mejora de procesos*. Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial]. México, 2014.

CANTÚ GONZÁLEZ, J. R. et al.. Process simulation, a perspective in pro to the operational performance *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, Universidad Autónoma de Coahuila, 2016.

CENTELLA, T. y HORNERO, F., Training base don simulation. A change needed in the training program of our specialty. *Revista Sociedad Española de Cirugía Torácica-Cardiovascular*. España, 2017. Vol. 24: pp. 187-189.

COSS BÚ, R.. *Simulación: un enfoque práctico*. Limusa, 2003.

FULLANA BELDA, C. y URQUÍA GRANDE, E.. *Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación*. Universidad Pontificia de Comillas, 2019.

GARCÍA, G.. *Metodología de simulación: Etapas de un Proyecto de Simulación*. 2017.

GARCÍA VALDECASAS, J. I., *Simulación basada en agentes. Introducción a Netlogo CIS-Centro de Investigaciones Sociológicas*, 2016.

GARCÍA DUNNA, E. et al.. *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México, 2006.

HOOVER, S. V. y PERRY, R.. *Simulation: A Problem-Solving Approach*. Pimera edición. *Prentice Hall*, 1989.

KELTON, W. D. et al.. *Simulación con software Arena* (4a. ed.). México: *McGraw-Hill*., D. F., 2008.

LÓPEZ HERNÁNDEZ, S.. *Grado en Ingeniería Mecánica Modelado y simulación en arena de sistemas de procesos continuos*. Tesis en opción al título de ingeniero industrial. Valladolid, Universidad de Valladolid, 2016.

LÓPEZ PALLARES, D. P. y FONTALVO MERCADO, L. M.. *Diseño de una propuesta de mejora para la reposición de inventarios a través de la simulación en la línea de vehículos livianos de una empresa distribuidora de autopartes*. Trabajo de Diploma para el título Ingeniero Industrial. Barranquilla, Universidad de la Costa, 2019.

METCALF, M. et al.. *Modern Fortran explained: incorporating Fortran*. Oxford University Press, 2018.

MÖLLER, D. P. *Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation. Computational Foundations and Multimodal Applications*. Springer-Verlag. London, 2014.

PARRA ARANGO, J. L. et al.. *Modelo de Simulación Sistema de Producción Bovino Doble Propósito Piedemonte llanero*. *Boletín de Investigación*. Villavicencio, Meta, 2005.

PATINO, K.. *Sistemas y modelos de simulación matemática, monografías, ensayo de modelación matemática y simulación*. Universidad de Nariño, 2019, [fecha de consulta: 3 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/sistemas-y-modelos-de-simulacion-matematica/4463279/>.

PÉREZ MALCA, G.. *Diferencia modelar y simular*. 2018, [fecha de consulta: 10 de mayo]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mobile/GiankPerezMalca/diferencia-modelar-y-simular-110096836>.

POPOV, G.. *GPSS language as tool for reliability simulations*. En: 5th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA). 2017. pp. 461-463. [fecha de consulta: 5 de julio del 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7955486/>.

PUCHE FORTE, J. F. et al.. *Guía Práctica para la Simulación de procesos Industriales*. Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia, 2005.

RÍOS, D. et al.. *Simulación. Métodos y aplicación* (ALFAOMEGA S. A). México, 2000.

SUCASAIRE PLACENCIA, H. E.. *Aplicación de simulación de sistemas con el software Arena para la mejora de la toma de decisiones en los servicios de ecografía de una clínica de Medical Images SAC en el distrito de Los Olivos en Lima Metropolitano*. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Universidad Nacional mayor de San Marcos, 2016.