

Diseño General de las Etapas de Simulación de Procesos con Énfasis en el Análisis de Entrada

Oscar Javier Herrera

Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI, Bogotá Colombia. ojavierho@gmail.com

Luis Abraham Becerra

Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá Colombia. luis.becerra@campusucc.edu.co

Resumen

Aquí se presenta un esquema metodológico para desarrollar las etapas de un proceso de simulación como herramienta para la toma de decisiones a nivel empresarial con énfasis en las etapas previas al diseño del modelo (análisis de entrada), a través del estudio de la literatura al respecto y de la experiencia del autor principal, evaluando esencialmente las etapas establecidas por (Banks, 2005) y teniendo en cuenta su aplicación a las micro y pequeñas empresas principalmente, basándose en las apreciaciones de tres empresas de confecciones de este tipo en la ciudad de Bogotá, obteniéndose como resultado una forma novedosa que simplifica y hace más práctico el uso de la simulación.

Palabras clave: Investigación de operaciones, Simulación discreta, análisis de entrada, toma de decisiones, análisis estadístico de datos, productividad.

Abstract

Here a methodology is presented to outline the steps of developing a process simulation as a tool for decision making at the enterprise level with emphasis on pre-design model (analysis input) stages, through study of the literature and experience of the senior author essentially established by evaluating the steps (Banks, 2005) and considering their application to micro and small enterprises mainly based on the findings of three garment companies of its kind in the city of Bogotá yield results in a novel way that simplifies and makes more practical the use of simulation.

Keywords: Operations Research, Computer simulation, input analysis, decision making, statistical analysis of data, productivity.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día es más frecuente encontrar empresas micro, pequeña o mediana (Mipyme), en todos los sectores económicos. En su afán por surgir estas empresas se esfuerzan por cumplirles a sus clientes de diversas maneras pero sin llevar a cabo procesos de planeación (Zapata Guerrero, 2005), no desarrollan una estrategia de negocio (Palomo González, 2005) y en su mayoría no utilizan herramientas técnicas, lo que las lleva a sobrecostos y por lo tanto a improductividades.

De otra forma, en las empresas se presentan situaciones o sucesos que requieren tomar decisiones para planificar, predecir, invertir, proyectar, etc. Para eso es importante el conocimiento del problema o de la situación y de las posibles soluciones, donde juegan un papel de importancia herramientas que permiten la obtención y análisis de información, como la modelización y la simulación. (Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires, 2010) y que sirve como soporte para la toma de decisiones, la cual ha sido empleada en diversas áreas, con especial énfasis en sistemas de manufactura (Dong, 2001). Por otro lado y debido a que los

empresarios confían con más facilidad en modelos que simulen la realidad construidos a partir de parámetros y formulas fácilmente identificables dentro del sistema real, que en modelos matemáticos que pueden ofrecer la misma o mejor calidad en las conclusiones, pero que resultan más complicados de entender y necesitan de un conocimiento previo en la materia (Mejía Ávila & Galofre Vásquez, 2008), es que se pretende desarrollar un estudio de simulación de procesos productivos como herramienta cuantitativa, específicamente en el análisis de las etapas previas al diseño del modelo de simulación, debido a la dificultad de identificar la complejidad del sistema a simular y de las restricciones en la recolección de información (Trujillo Díaz, Vallejo Cubillos, & Becerra Fernández, 2010) y de su análisis estadístico para el posterior diseño del modelo, lo cual se puede hacer más complejo por el nivel de detalle que se quiere incluir en el análisis, la incertidumbre de los datos y el número de criterios que se utilizan en la comparación de alternativas (Otamendi, 2002).

El valor agregado a través del uso de la simulación se sustenta en la posibilidad de representar adecuadamente una amplia gama de posibles escenarios, obteniendo no solo medidas de desempeño sino también una representación gráfica adecuada para el entendimiento por parte del equipo tomador de decisiones y de las directivas de la empresa. (Pérez & Riaño, 2007) y más, teniendo en cuenta que el análisis de sistemas mediante simulación ha tenido un auge espectacular en las dos últimas décadas, a medida que los ordenadores personales han ido mejorando sus servicios. (Otamendi, 2002) y al desarrollo de diversos software para facilitar el diseño de los modelos -“representaciones de un sistema desarrollado para un propósito específico”- (Urquía Moraleda & Martín Villalba, 2013), lo cual ayuda a encontrar una solución con mejores resultados (Lanner Group, Geoffrey Hook, 2011). Es así, que el problema abordado en este estudio es la dificultad que presentan los empresarios, especialmente las micro y pequeñas empresas para el uso de la simulación de sistemas productivos como herramienta para la toma de decisiones y específicamente en el análisis de las etapas previas al diseño del modelo de simulación. Por lo tanto, se establece un diseño metodológico para su consecución de una manera sencilla y practica para su aplicación por parte de este grupo de empresarios en busca de utilizar herramientas técnicas que mejoren el desempeño de los sistemas productivos que gerencian. Se comenzara por establecer las apreciaciones de tres micro empresarios en Bogotá del sector de confecciones sobre el proceso de simulación de manera general, obteniéndose las siguientes valoraciones:

- Los empresarios no conocen las herramientas de Investigación de Operaciones como apoyo para la toma de decisiones a nivel empresarial y por lo tanto, no conocen nada acerca de la simulación.
- Relacionado con el análisis de información, no realizan estudios estadísticos en la gestión de su proceso, ni usan ningún software para tal fin, por lo tanto no conocen nada relacionado con el análisis de entrada en simulación.

Se pasara ahora a determinar los conceptos generales de simulación en procesos, definiendo sus etapas o pasos de consecución de una manera sencilla de entender y utilizar por parte de los micro y pequeños empresarios, haciendo énfasis en la forma de realizar el análisis de la información previo a la consecución del modelo de simulación.

2. GENERALIDADES DE LA SIMULACIÓN Y SU PROCESO

El término simulación ha sido interpretado por varios autores desde su formación y conocimiento, desde sus inicios se definió como una técnica numérica para la realización de experimentos en un computador digital, con ciertos tipos de modelos lógicos que describen el comportamiento de un sistema económico (Naylor & Boughton, 1971), esto con el fin de entender el comportamiento del sistema real o evaluar varias estrategias para la operación del sistema (Shannon, 1975). Su objetivo es modelar el mundo real, reduciéndolo a una estructura más simple (modelo) mediante el uso de la computadora, que corresponde a una representación limitada de la realidad atendiendo los propósitos claramente definidos para el estudio o aplicación (Knepell & Arangno, 1993), (Law & Kelton, 2000), (Guasch Petit, Piera, Casanovas, & Figueras, 2003), (Báez Senties, Torres Osorio, Alvarado Lassmann, Ortiz Flores, & Moras Sánchez, 2008) y luego codificarlo en un entorno de simulación para poder realizar experimentos y analizar los resultados con el fin de mejorar el rendimiento del sistema. Cuando mayor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad, mayor será su utilidad (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2003). Estos experimentos se caracterizan porque el modelo evoluciona o se desarrolla en el tiempo (Winston, 1994) y (Ross, 1999). Este último lo sustenta como un modelo probabilístico que requiere la generación

de mecanismos estocásticos (*donde las variables son sometidas a influencias o impactos aleatorios*, (Velásquez & Velásquez, 2012)), estableciéndose relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006). También se considera como un experimento estadístico y en consecuencia sus resultados se deben interpretar de esta manera (Mejía Ávila & Galofre Vásquez, 2008). Para (Banks, 2005) la simulación implica la generación de una historia artificial de un sistema, y la observación de esa historia artificial para sacar conclusiones concernientes a las características de la operación del sistema real.

De los planteamientos anteriores se estableció la siguiente definición de simulación: *es una herramienta que permite representar, analizar y comprender un sistema o proceso en el mundo real valiéndose de la imitación del mismo en una computadora a través de un software en el que se realizan pruebas o experimentos a distintos escenarios del sistema con el fin de analizar los resultados arrojados y obtener así conclusiones de tal manera que sirva como apoyo para la toma de decisiones en el sistema real.*

3. ETAPAS PARA EL PROCESO DE SIMULACIÓN

De acuerdo al planteamiento de (Banks, 2005), el proceso de simulación es extenso dado que, etapas como la recolección de la información deben hacerse lo más precisa posible de manera que los datos obtenidos sean verídicos y no se altere el resultado de la simulación, lo que conlleva una inversión en tiempo y dinero que repercute en la economía de la organización, por ello es estrictamente necesario definir el problema, objetivos y limitantes del sistema de manera que se pueda tener la seguridad de que la herramienta a aplicar es simulación. (Banks, 2005) Hace referencia a una etapa inicial llamada formulación del problema, (Hillier & Lieberman, 2010) coincide con él en los componentes de ésta. (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006) nombran esta etapa como definición del sistema bajo estudio. Por su parte, el autor (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2003) plantea como inicio del proceso de simulación la elaboración del plan de estudio en el que incluye actividades ya mencionadas por (Banks, 2005), definir los objetivos de la simulación definir cómo se va a medir su desempeño, la información que se espera obtener del modelo o la importancia de la decisión a tomar a partir del modelo. (Coss Bu, 1998) divide este paso en dos, el primero que comprende el análisis preliminar del sistema, teniendo en cuenta sus restricciones y se determinan las interacciones entre el sistema, además las medidas de efectividad y resultados esperados, el otro incluye la definición de las variables que forman parte del sistema y los diagramas de flujo que describen el modelo.

(Banks, 2005) define la siguiente etapa como el Ajuste de los objetivos y el plan general del proyecto para luego establecer la conceptualización del modelo, en este punto concuerda con (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2003) donde muestran que éste debe ser ajustado de manera progresiva, haciendo mejoras a su proceso. Por su parte (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006) plantean que se debe definir el gráfico que representa el modelo haciendo uso de la creatividad y reflejando la realidad del problema a tratar. Seguidamente sigue la recolección de la información requerida para la construcción del modelo, la cual ocupa gran parte del tiempo y es fundamental en la realización del modelo y depende del sistema en el que se va a trabajar (Hillier & Lieberman, 2010). Para (Coss Bu, 1998) la etapa siguiente es la implementación del modelo en la computadora, en ésta también enuncia la relevancia de definir qué lenguaje será el usado en la computadora, de esta manera coincide con (Banks, 2005).

Luego viene la etapa de validación (Banks, 2005) (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006) quienes argumentan que es necesario realizar una serie de pruebas de manera que se pueda cotejar el comportamiento del modelo y su semejanza con la realidad. En seguida prosigue el “diseño experimental”, donde se deben determinar las alternativas a simular, teniendo en cuenta el número de simulaciones que han sido completadas y analizadas. En este punto (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006) y (Coss Bu, 1998) dicen que una vez obtenidos los resultados de los escenarios planteados, es necesario realizar análisis de sensibilidad para comparar los que presenten los mejores resultados. Aquí es importante definir la longitud de corrida y el número de estas (Hillier & Lieberman, 2010), este autor define que la longitud de corrida es directamente proporcional a la precisión de las estimaciones. (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006) hace referencia de la necesidad de realizar réplicas al modelo o hacer más largo el tiempo de cada corrida,

dependiendo de lo requiera el mismo. Finalmente (Banks, 2005) hace referencia a la documentación del programa en la que quede la evidencia para las personas que lo utilicen y posteriores tomas de decisiones. (Hillier & Lieberman, 2010) indican que se debe realizar una serie de recomendaciones y realizar un informe, este debe resumir la manera como se realizó el estudio y los resultados arrojados por el mismo. Y por último es la ejecución de las propuestas planteadas. Tomando en cuenta la información anterior acerca del proceso de simulación a nivel teórico, se proponen un proceso metodológico evidenciado en la Tabla 3, para el desarrollo de un proceso sencillo de simulación para pequeñas y medianas empresas.

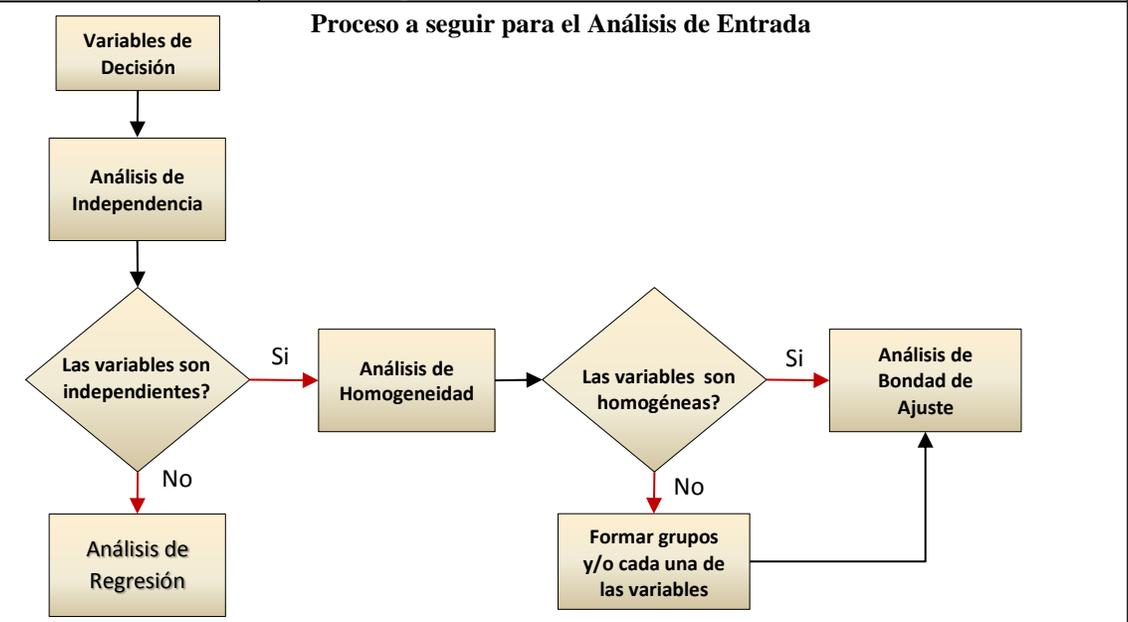
Tabla 3. Etapas para la Simulación de Procesos

ETAPAS	NOMBRE COMPONENTE	DEFINICIÓN Y ASPECTOS A TENER EN CUENTA
1. Definición del sistema		Pretende ilustrar de la manera más completa posible el sistema en el cual se va a trabajar, se necesita entender muy bien el funcionamiento de las condiciones reales, sus elementos, relaciones y metas e imaginarlas como un sistema. (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2003) de manera que se pueda tener una idea muy cercana de los componentes del sistema sobre el cual se va a realizar la simulación, determinando si la herramienta adecuada para dar solución al problema es la ya mencionada o se debe trabajar con otras técnicas de métodos numéricos para obtener los mismos resultados a menor costo. Para esta etapa se consideran los siguientes aspectos:
	Objetivos de la simulación	<p><i>Para que se hace</i>, donde el analista se debe cuestionar los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué resultados se alcanzarán con la simulación? - ¿En cuánto tiempo se alcanzarán esos resultados? - Recursos requeridos: <ul style="list-style-type: none"> a. Mano de Obra: Profesional calificado en procesos de simulación discreta y en estadística b. Financiero: Realizar un presupuesto de inversión en la consecución del modelo y aplicación de las mejoras propuestas. c. Tecnológico: software de desarrollo productivo para procesos de simulación. d. Disponibilidad del personal involucrado en el sistema a simular. - Definir el alcance que se va a tener con la simulación, que consiste en establecer si el modelo de simulación se va a realizar sobre todo el sistema o sobre alguna(s) etapa(s) en especial del proceso, determinando su inicio y fin con especificidad.
	Las variables de interés a) De decisión b) De respuesta c) Exógenas	<p>Son los elementos que definen el comportamiento del sistema y que son relevantes para su funcionamiento, con las cuales éste es representado de manera genérica. Se puede establecer tres tipos de variables como son las mencionadas por (Calderon, 2003)</p> <ul style="list-style-type: none"> a. De decisión: Son las que describen el estado del sistema en cualquier instante y definen su comportamiento. b. De respuesta: Son las variables cuyo valor se trata de predecir a través del modelo. c. Exógenas: Afectan el comportamiento del sistema, no son afectados por el sistema.
	Medidas de desempeño	Hacen referencia a las variables que miden el comportamiento del sistema evaluado en el modelo y sirven para determinar qué escenario de desempeño es mejor que otro.
		Es importante definir la información que se espera obtener del modelo o la importancia de la decisión a tomar a partir del modelo.
2. Plan General del Proyecto	Programas a utilizar en el desarrollo de la simulación	Es necesario establecer que programas (software) se adaptan al sistema que será simulado.
	Número de personas	<p>¿Cuántas personas estarán involucradas en el proceso de simulación?</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Profesional en Simulación y Estadística b) Personas que recopilaran los datos base del estudio c) Personal involucrado en el proceso productivo que pueden apoyar con su

		conocimiento la simulación, esto puede ayudar a que el ambiente que se simulará se ajuste más a la realidad.
	El costo del proceso	¿De cuánto dinero se debe disponer para llevar a cabo el proceso de simulación? a) Salario de los analistas b) Inversión en herramientas informáticas, de ser necesario.
	El tiempo de cada una de las fases del proceso de simulación.	Busca establecer cuanto tiempo tomará llevar a cabo cada una de las fases o etapas de la simulación con el fin de realizar trazabilidad a las mismas.
	Resultados esperados al final de cada etapa.	Con el tiempo ya establecido de cada etapa, se debe establecer que resultado arrojará cada una de las mismas, lo que puede ayudar a controlar el progreso del proceso completo de simulación.
3. Recolección de Datos		Consiste en la obtención de los datos referentes a las variables definidas en la etapa 1, preferiblemente tomados directamente del sistema a simular, con la precaución de que no haya ninguna alteración del comportamiento más habitual de las respectivas variables. La recolección de los datos está íntimamente ligada a la longitud de corrida del modelo, pues de ésta depende el tiempo que tome la obtención de la información, teniendo en cuenta que la longitud de corrida hace referencia a la duración de un ciclo productivo de planeación, (subdivisión del horizonte de planeación) que por lo general es de un mes. Dado que esta etapa ocupa gran parte del tiempo del proceso general de simulación es necesario dar inicio a la misma rápidamente.
	Longitud de Corrida	Es necesario establecer que parámetros definirán la longitud de corrida, la cual puede depender de: a) El tiempo del ciclo productivo b) Determinar si se tomarán uno (1) o varios ciclos productivos para la definición de la longitud de corrida c) Definir si la corrida se hará por un pedido o cantidad específica de productos requerida.
	Definir fuentes de información	Debido a que la recolección de información se convierte en muchos casos en restricción, ya que el acceso a ésta en su mayoría es limitada, o no se realiza de la manera adecuada. (Trujillo Díaz, Vallejo Cubillos, & Becerra Fernández, 2010), se debe saber en qué fuente (<i>datos tomados directamente del sistema, datos históricos, registros contables, órdenes de compra, opiniones de expertos o experimentos</i>), puede tomarse la información necesaria para soportar el modelo y por tanto el proceso.
	Tiempo de inicio de la etapa	Dado que esta etapa es la más extensa del proceso, se debe determinar el momento oportuno en el que se iniciara la toma de la información o la recolección de la misma.
	Cuando no se tienen datos, que se hace?	Existen algunas formas de conseguir información que pueden orientar en la distribución a escoger y en la formulación del modelo aunque no existan datos, entre estas esta (Banks, Carson, Barry L., & Nicol, 2005): <ul style="list-style-type: none"> • Datos de ingeniería, como información proporcionada por los proveedores de un producto (duración del producto, factor de uso, etc.). Esto permitirá definir un punto de entrada. • Opiniones de expertos, pueden permitir identificar situaciones, como tiempos de fallo, tiempos optimistas y pesimistas en un proceso, entre otros. Ese conocimiento puede representar gran ayuda en la formulación del modelo. • La naturaleza del proceso, dado a que existen distribuciones que se ajustan normalmente a determinados tipos de proceso. • Se hace necesario realizar análisis de sensibilidad de los resultados de la simulación de acuerdo con la distribución elegida.
4. Análisis de Entrada		En esta etapa se estudian los datos recolectados referentes a las variables definidas previamente con el fin de establecer su comportamiento estadístico y que serán introducidos en el software de simulación de manera que se pueda asegurar que los parámetros de la simulación funcionan de manera correcta de acuerdo al comportamiento original del sistema.

Es importante tener en cuenta en este análisis la apreciación del experto en el sistema, (dueño del sistema o quien lo opera o quien lo conoce muy bien), con el propósito de tener una aprobación general del comportamiento de estas variables y así tener una validación previa del sistema a través de las variables que lo componen.

<p>Análisis estadísticos a realizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de Independencia - Pruebas de Homogeneidad - Pruebas de Bondad de Ajuste - Análisis de regresión 	<p>Determinar el tratamiento que se le dé a las variables involucradas en el sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prueba de independencia: De acuerdo con (Calderon, 2003) esta prueba busca establecer la relación que existe entre el ordenamiento de una secuencia de números aleatorios, de acuerdo al tiempo de generación. - Prueba de Homogeneidad: Según (Mongue Ivars & Juan Pérez), estas pruebas se realizan con el fin de establecer si dos muestras aleatorias proceden de una misma población. - Prueba de bondad de ajuste: Para (Marques Dos Santos, 2011) esta prueba busca probar de manera estadística que la distribución de la frecuencia observada se ajusta con alguna distribución teórica conocida. - Análisis de regresión: Conforme al postulado de (Pedroza & Dicovskyi, 2006) este análisis hace referencia a la “cantidad de cambio” que experimenta una variable dependiente (Y), en relación al cambio de una unidad de una variable independiente (X). Estudia la naturaleza de la relación entre dos variables dependientes
--	--



Para el análisis de los datos se debe realizar una discriminación por periodos de tiempo y grupos definidos de variables, a fin de determinar si existían comportamientos estadísticamente diferentes en cada uno de éstos. (Pérez & Riaño , 2007).

Según (Trujillo Díaz, Vallejo Cubillos, & Becerra Fernández, 2010), en el diseño de la metodología para el análisis de datos se realiza en primera instancia un análisis estadístico de entrada, con el fin de identificar el comportamiento factorial del sistema *intra* e *inter* variable, luego se realizan las pruebas de homogeneidad, cuya prueba utilizada para este fin es la prueba no-paramétrica de diferencia de N medias de Kruskal-Wallis (Conover, 2000) y finalmente la prueba de bondad de ajuste. En esta última en particular, la prueba Kolmogorov-Smirnov (Law & Kelton, 2000) para aquellos casos en que su versión corregida existe, además su propósito es obtener distribuciones de probabilidad para representar las variables de decisión. Esta representación ofrece mucha mayor información que un análisis a partir de promedios o cotas inferior y superior (Law, 2003).

<p>Uso de programas o software estadísticos a utilizar.</p>	<p>Determinar qué aplicativos estadísticos se usaran para este fin de acuerdo al tipo de prueba a realizar y a su disponibilidad. Los más recomendados por tipo de prueba son:</p>
---	--

		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Statgraphics</i>: para pruebas de independencia, homogeneidad (test de Kruskal-Wallis) y de regresión. - <i>Stat:Fit</i>: para pruebas de independencia y Bondad de Ajuste.
5. Construcción del Modelo	<p>En este paso se debe elaborar el modelo del sistema lo más cercano a la realidad, empleando la sintaxis específica del software que se esté utilizando, teniendo en cuenta la lógica secuencial del proceso real.</p> <p>Se sugiere realizar un bosquejo general del proceso para construir el modelo, sin olvidar las relaciones existentes entre sus componentes y teniendo en cuenta lo siguiente:</p>	
	Clasificación del modelo de acuerdo con su momento de finalización:	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de categoría terminal: Según (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2006) el modelo dicta un punto de partida específico y de finalización, como un reflejo natural de la forma en que el sistema de destino funciona realmente. Aquí, la simulación terminará de acuerdo con alguna regla o condición del modelo especificado. De acuerdo con (Guasch Petit, Piera, Casanovas, & Figueras, 2003), inicia en un determinado estado que ha sido previsto por quien la diseñó y que será ejecutada hasta que ocurra un evento -previamente identificado- por el cual se detendrá la simulación. - Modelos de categoría no terminal o de estado estable: de acuerdo a (García Reyes, García Dunna, & Cardenas Barrón, 2006), este tipo de simulación no involucra una ocurrencia en el tiempo en que tenga que finalizar.
	Conocimiento del sistema a modelar	La elaboración del modelo requiere una comprensión total de todo el sistema de manera que dicho modelo sea lo más cercano posible al sistema en estudio.
	Lenguaje de simulación	Es preciso conocer cuál es el lenguaje que maneja el software de simulación elegido, con el fin de que la sintaxis del proceso quede bien definida.
	Componentes del sistema a modelar <ul style="list-style-type: none"> - Elementos estáticos. - Elementos dinámicos. - Los arribos. - La secuencia lógica. 	<p>Para (Harrell, Ghosh, & Bowder, 2011) los componentes del sistema se definen de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elementos estáticos: También llamados locaciones, hacen referencia a las ubicaciones, representan lugares fijos en el sistema en el que las entidades se encaminan para el procesamiento, la demora, el almacenamiento, la toma de decisiones, o alguna otra actividad. - Elementos dinámicos: Generalmente nombrados entidades hacen referencia a cualquier cosa que un modelo puede procesar, como ejemplo se pueden nombrar: partes, materiales, insumos del proceso, clientes del sistema. - Los arribos o llegadas: Es el mecanismo para definir cómo las entidades entran en el sistema. Las entidades pueden llegar individualmente o en lotes. - La secuencia lógica: Normalmente nombrada procesamiento, describe las operaciones que se realizan en un lugar, el tiempo que una entidad gasta en determinado lugar, los recursos que necesita para completar el procesamiento y todo lo que sucede en el lugar, incluyendo la selección siguiente destino de una entidad.
6. Validación	<p>En este paso se busca realizar pruebas experimentales para cotejar si el modelo es una representación fidedigna o semejante del sistema real, esto se hace mediante la comparación de la información de salida del modelo o resultados obtenidos de la simulación previa contra los datos observados reales. Con esto se busca que los parámetros de las variables y la estructura lógica del modelo sean representados de manera correcta en el ordenador. Cuando se encuentran diferencias, estas son usadas junto con el conocimiento adquirido, para mejorar el modelo. Este proceso se repite hasta que la exactitud del modelo sea aceptable (lo más cercano a la realidad).</p> <p>De acuerdo con lo que indica (Garavito, 2012) <i>la validación del modelo se realiza para desarrollar un nivel aceptable de confianza de que las inferencias sacadas del desempeño del modelo son correctas y aplican al sistema real.</i> Dependiendo del modelo a simular se sugiere hacer prototipos para verlos en funcionamiento. Se recomiendan las siguientes formas de validación para el modelo a simular:</p>	
	Opinión del experto en el sistema.	Es necesario evaluar la opinión de quien mejor conoce el sistema, porque es quien lo opera e interactúa constantemente con él.
	Opinión de expertos en Simulación	Un especialista en simulación puede determinar si el modelo elaborado contiene falencias en la sintaxis del mismo o en manejo estadístico de la información.

	Evaluación estadística con un determinado nivel de error	Busca realizar pruebas estadísticas a través de establecer intervalos de confianza, para verificar si existe diferencia significativa entre los datos simulados y los datos reales. Esto se hace escogiendo las variables más significativas del sistema.
	Exactitud en la predicción futura	Esta información aporta valor real al modelo, se puede evaluar su correcto funcionamiento al compararlo con el comportamiento pronosticado en la realidad.
	Usar lo que hace fallar el sistema real	Si al introducir las fallas del sistema al modelo, el comportamiento del mismo no presenta cambio alguno, esto es una muestra de que el modelo no está completamente ajustado a la realidad, necesitará entonces modificaciones.
	Análisis de sensibilidad	Buscar la comparación de distintos escenarios reales del sistema, lo que puede despejar dudas en la comprensión del mismo.
	Test de validación (Garavito, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Test de Continuidad: Los pequeños cambios en los parámetros de insumo, deben provocar pequeños cambios en los resultados de la simulación. Ejemplo: pequeño aumento en la razón de llegadas a un sitio debe resultar en un pequeño aumento en el número promedio de entidades en fila. Si el cambio es desproporcional, el analista deberá entender porque esto ocurre. - Test de Consistencia: Corridas similares, deberá presentar resultados similares. - Degeneración: Cuando ciertos detalles se remuevan del modelo, los resultados deberán reflejar esa remoción. Ejemplo: que cuando un recurso se quite, que el número promedio en fila aumente. - Condiciones absurdas: Aquí se prueban dos aspectos, si al modelo se le entran insumos absurdos, que los resultados no sean absurdos que no se generen situaciones absurdas durante la simulación Ejemplo: tiempos negativos
7. Experimentación	<p>Busca experimentar o evaluar diversos comportamientos o escenarios del sistema, realizando un análisis de sensibilidad con el fin de comparar los que presentan los mejores resultados de acuerdo al objetivo planteado inicialmente. Es importante en este paso, establecer indicadores de desempeño con los cuales realizar las comparaciones de los diversos escenarios y así tener un criterio objetivo de selección de la mejor opción.</p> <p>En todo este proceso, es necesario tener en cuenta el número de simulaciones que han sido completadas y analizadas enfocados en la duración del periodo de inicialización, la longitud de corrida de la simulación y el número de veces que se repetirá cada ejecución. Si es necesario realizar réplicas (nuevas corridas de simulación), se debe evaluar si el diseño actual es el mismo que se ha ejecutado con antelación, de lo contrario, determinar cómo se harán los nuevos experimentos.</p>	
	El plan de experimentación.	<p>El cual establece las posibles alternativas de comportamiento o escenarios del sistema que se quieren evaluar con el modelo de simulación de acuerdo a los objetivos establecidos en su inicio. Aquí se debe tener en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se debe realizar cambios a los parámetros o comportamiento de las variables - Adición o reducción de variables o elementos constitutivos del sistema - Modificaciones a las lógicas de funcionamiento del sistema - O cualquier otro cambio que se considere pertinente evaluar.
	Ajuste del modelo	Es importante determinar el momento en el que el sistema llega a su estado estable teniendo en cuenta el número de réplicas necesarias, se sugiere la metodología establecida por (Rossetti, 2010)
8. Interpretación y	Aquí se deben aclarar los resultados obtenidos teniendo en cuenta los siguientes aspectos:	
	Resultados de experimentos	¿Cómo se comportó el sistema en los experimentos realizados?, ¿qué alternativas se consideraron en la simulación y cuáles fueron

presentación de resultados		sus comportamientos?
	Observaciones hechas en el proceso	Lista de aportes que fueron hechos en el transcurrir del proceso de simulación, acciones tomadas a partir de las mismas, resultados de las que fueron implementadas.
	Toma de decisiones	Cuáles fueron las acciones tomadas a partir del proceso de simulación que ha culminado, como se debe afrontar el problema detectado en su inicio.
	Conclusiones y recomendaciones del proceso	Debe evidenciar la interpretación del analista en el proceso que se llevó a cabo, es necesario dejar claro a los interesados, de ser posible de forma escrita, que es relevante para tener en cuenta en el proceso.
9. Toma de Decisiones	<p>Una vez realizados los análisis pertinentes y la presentación de los informes correspondientes, es necesario que la alta gerencia tome la decisión teniendo en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los costos en los que incurrirá ejecutando los cambios que fueron sugeridos por parte del experto en simulación, traducidos en: <ul style="list-style-type: none"> - Mano de obra involucrada. - Posibles retrasos de la operación por motivo de los cambios. - Inversión en nuevas tecnologías e infraestructura. - Capacitación o entrenamiento al personal acerca del nuevo proceso. • El tiempo que tardará en realizar los cambios propuestos. • El tiempo estimado de retorno de la inversión. 	
10. Monitoreo y control.	Según (García Dunna & Azarang Esfandiari, 1996) “es necesario realizar un monitoreo al sistema y controlarlo puesto que los sistemas son dinámicos y es posible que con el transcurso del tiempo sea necesario modificar el modelo de simulación, ante los nuevos cambios del sistema real, con el fin de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación del sistema”.	

4. CONCLUSIONES

Se pudo establecer una forma novedosa de ver el proceso de simulación de procesos productivos explicado de manera sencilla a través una guía metodológica y sistémica que aclara el concepto de esta técnica para la toma de decisiones, estableciendo específicamente cada una de sus etapas y la forma de llevarlas a cabo, definiendo desde el establecimiento de sus objetivos hasta la utilización de recursos. Se hizo especial énfasis en el análisis de entrada donde implica la recopilación de información y su análisis, determinándose las diferentes pruebas a realizar a nivel de la estadística, su proceso y software más recomendado que se encuentra en el mercado. Este diseño es útil para todo tipo de empresa, aunque se realizó pensando de manera particular para las micro y pequeñas empresas por su desconocimiento en esta herramienta y por los bajos niveles de capacitación técnica en el uso de la estadística y de los modelos cuantitativos incluyendo el manejo de software especializado. Queda abierta la posibilidad de continuar con el análisis de las otras etapas aplicadas a un sistema real en otro estudio posterior.

REFERENCIAS

- Lanner Group, Geoffrey Hook . (2011). Business Process Modeling And Simulation. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference* (pág. 17). Phoenix: 7ST UK.
- Báez Sentfies, O., Torres Osorio, R., Alvarado Lassmann, A., Ortiz Flores, F., & Moras Sánchez, C. (2008). Metodología de ayuda a la decisión para el plan de producción en sistemas de manufactura flexible. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 2(1), 1-13.
- Banks, J. (2005). *Introduction to Discrete-Event System Simulation* (4ta ed.). India: Pearson Education India.
- Banks, J., Carson, J. S., Barry L., N., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Blanco Rivero, L. E., & Fajardo Piedrahita, I. D. (2003). *Simulación con Promodel*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Calderon, B. A. (Julio de 2003). *Introducción a la simulación*. Recuperado el 14 de Enero de 2014, de http://www.aladefe.org/simulacion/index_files/documentos/

- Coss Bu, R. (1998). *Simulación un enfoque práctico*. Mexico: Limusa.
- Dong, M. (27 de 07 de 2001). Process Modeling, Performance Analysis and Configuration Simulation in Integrated Supply Chain Network Design. *Ph.D. Thesis*. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Garavito, E. (2012). *Técnicas Modernas de Optimización*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander UIS.
- García Reyes, H., García Dunna, E., & Cardenas Barrón, L. (2006). *Simulación y Análisis de sistemas con Promodel*. Mexico: Pearson.
- Guasch Petit, A., Piera, M. Á., Casanovas, J., & Figueras, J. (2003). *Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de Fabricación y Servicios*. Barcelona: Edicions UPC.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowder, R. O. (2011). *Simulation Using Promodel*. EEUU: Mc Graw Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Investigación de Operaciones* (9a. ed.). Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. (2006). *Simulation with Arena*. Boston: Mc Graw Hill.
- Knepell, P. L., & Arangno, D. C. (1993). *Simulation Validation: A Confidence Assessment Methodology*. California: IEEE Computer Society Press.
- Law, A. (2003). How to conduct a successful simulation study. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*. Tucson AZ 85717 U.S.A.: S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice, eds.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation, Modeling and Analysis*. Tucson, Arizona USA: Mc Graw Hill.
- Marques Dos Santos, M. J. (2011). *Estadística básica un enfoque no paramétrico*. Zaragoza: FES Zaragoza.
- Mejía Ávila, H., & Galofre Vásquez, M. (Diciembre de 2008). Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos. *Prospectiva*, 6(2), 39-45.
- Mongue Ivars, J. F., & Juan Pérez, Á. A. (s.f.). [www.uoc.edu](http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/Chi_cuadrado.pdf). Recuperado el 20 de Diciembre de 2013, de http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/Chi_cuadrado.pdf
- Naylor, T. H., & Boughton, J. M. (1971). *Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems*. New York.
- Otamendi, J. (Marzo de 2002). Simulación: una herramienta eficaz y eficiente para la toma de decisiones. *SEIO Sociedad de Estadística e Investigación Operativa*, 18(1), 2-8.
- Palomo González, M. A. (2005). Los procesos de gestión y la problemática de las Pymes. *Ingenierías*, 26-31.
- Pedroza, H., & Dicoovskyi, L. (2006). *Sistemas de Análisis estadístico con SPSS*. Managua: INTA.
- Pérez, J. F., & Riaño, G. (Mayo de 2007). Queuing Analysis for the Design of a Cafeteria Using Discrete-Event Simulation. *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes*(25), 12-21.
- Ross, S. M. (1999). *Simulación*. Naucalpan: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Rossetti, M. D. (2010). *Simulation Modeling and Arena*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Shannon, R. E. (1975). *System Simulation - The Art and Science*. Englewood Cliffs New Jersey: Prentice-Hall.
- Trujillo Díaz, J., Vallejo Cubillos, J. D., & Becerra Fernández, M. (Diciembre de 2010). Metodología para la simulación de centros de llamadas-Caso de estudio. *Studiositas*, 5(3), 117-137.
- Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires. (Junio de 2010). Plan de Curso en Simulación. *PLAN 95 - ING. EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN*. Buenos Aires, Argentina.
- Urquía Moraleda, A., & Martín Villalba, C. (2013). *Modelado y Simulación de eventos discretos*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid.
- Velásquez, S., & Velásquez, R. (Septiembre de 2012). Modeling with random variables in simulink using montecarlo simulations. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 16(64), 203-211.
- Winston, I. W. (1994). *Investigación de Operaciones y Algoritmos* (4ta ed.). Indiana: International Thompson Editores.
- Zapata Guerrero, E. E. (2005). Las Pymes y su problemática empresarial. Análisis de Casos. En G. Calderon Hernandez, & G. A. Castaño Duque, *Investigación en Administración en América Latina: Evolución y Resultados* (pág. 795). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Autorización y Renuncia

Autores autorizan a LACCEI para publicar el documento en las actas del congreso. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que se expresa en el periódico.