

Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional

Process simulation, a perspective in pro to the operational performance

José Roberto Cantú-González

Universidad Autónoma de Coahuila
roberto.cantu@uadec.edu.mx

María del Carmen Guardado García

Universidad Autónoma de Coahuila
carmen.guardado@uadec.edu.mx

José Luis Balderas Herrera

Universidad Autónoma de Coahuila
jose.balderas@uadec.edu.mx

Resumen

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. Por otra parte, sabiendo que no siempre existe la dinámica de la utilización de esta herramienta en algunos sectores específicos de la industria; como estrategia para fomentarla, se propone desarrollar prácticas de simulación de procesos en el aula, involucrando de esta manera al estudiante en las operaciones industriales, y además se introducen las bondades de esta poderosa alternativa de análisis y experimentación a los profesionales del área industrial.

Este trabajo aporta diferentes aspectos de interés para la Ingeniería Industrial: Se presenta la fundamentación del concepto de simulación y su vinculación como herramienta del proceso, el análisis de las alternativas de software comercial existente y finalmente presenta un modelo de mejoramiento del desempeño operacional basado en la utilización del software de simulación ProModel.

Palabras clave: Simulación de procesos, desempeño operacional y ProModel.

Abstract

Simulation is undoubtedly a proven tool for the analysis of production processes, and consequently a means of experimentation of the variables involved, all to the benefit of improving operational performance. Moreover, it is known that the dynamics of use of this tool is not completely consistent in all sectors of the industry; as a strategy to promote it, it is proposed to develop practices of process simulation in the classroom, involving the student in industrial operations, and also the benefits of this powerful alternative for analysis and experimentation is introduced to the industry professionals.

This work brings different aspects of interest to the Industrial Engineering, it is presented: the foundation of the concept of simulation and its relationship as a tool of the process, the analysis of alternatives existing in commercial software and finally presents a model of improved operational performance based on the use of ProModel, an important simulation software.

Key words: Process simulation, operational performance and ProModel.

1. Introducción

El desarrollo de la computación ha tenido en la simulación a una de las herramientas más ampliamente probadas en diferentes ámbitos de aplicación y con respecto a los procesos de manufactura no ha sido la excepción.

En este campo la simulación permite la experimentación y validación del producto o proceso tanto en su configuración como en el diseño del sistema, lo cual hace evidente su valor (Mourtzis, Doukas, & Bernidaki, 2014) . Por lo anterior la simulación contribuye a maximizar el desempeño operacional al tiempo de prever durante su desarrollo resultados no deseados en la operación.

Ahora bien, profundizando en el tema del desempeño operacional, podemos deducir su importancia ante la necesidad de las organizaciones por cuidar sus indicadores en pro de la rentabilidad de su negocio, razón por lo cual en los tiempos actuales se demanda un alto nivel de desempeño en las organizaciones, lo que se traduce en la supervivencia en los mercados (Cantú González, Gómez González, & Rosano Ortega, 2012). Todo lo anterior crea un excelente marco de aprovechamiento para

la utilización de la simulación, y más aún cuando en la actualidad existen en el mercado diferentes tipos de software comercial especializados en simulación de procesos, lo cual invalida la excusa de requerir personal altamente calificado en temas de programación para atender este campo.

A pesar del escenario antes mencionado, en nuestros días es bien sabido que empresas originarias de países desarrollados invierten en países en vías de desarrollo creando empresas conocidas (en México) como “maquiladoras” con el propósito de replicar en gran volumen los productos que son diseñados en sus países de origen, siendo las maquiladoras las encargadas de “seguir paso a paso” la encomienda de los estudios realizados inicialmente. Por supuesto en principio es muy bueno por la derrama económica que significa, sin embargo crea un círculo vicioso porque estas empresas no siempre invierten con intensidad en tecnología y mayor utilización de personal calificado (Carrillo & Gomis, 2003), por tanto el capital humano contratado difícilmente tiene el interés o la necesidad de aplicar técnicas avanzadas para la manufactura, lo que a la postre representa un rezago en términos de avances tecnológicos y de la gestión del conocimiento, propiciando en los países receptores la continuidad indefinida del estado de “vías de desarrollo “ debido a la dependencia de la inversión extranjera; pues bien la simulación de procesos es un gran ejemplo de la tecnología avanzada no utilizada, dado que rara vez es conocida y en tal caso, no es comúnmente utilizada.

Con propósito de contribuir al avance tecnológico entre estudiantes y los interesados de la industria maquiladora, este trabajo fomenta el uso de la simulación en el proceso, proporcionando los fundamentos del primero para su comprensión inicial, presenta un análisis entre el software de simulación de procesos comúnmente utilizados y finalmente presenta un modelo de simulación de procesos basado en ProModel, software comercial para simulación con enfoque a procesos de fabricación (García-Dunna, García-Reyes, & Cardenas-Barrón, 2006).

2. Fundamentos de la simulación

2.1 Orígenes

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 periodo 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, García-Reyes, & Cardenas-Barrón, 2006) . Sin embargo si vamos más atrás en el tiempo, podríamos decir que esta valiosa herramienta podría tener sus orígenes desde el momento mismo 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.

2.2 Definición

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 y general 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”.

Ahora bien, considerando la definición de simulación en relación a un modelo computacional como es común encontrarlo por diversos autores contemporáneos, resulta conveniente citar una de las definiciones destacadas:

“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” (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2008)

2.3 Clasificación de sistemas de simulación

Según (Möller, 2014), históricamente los sistemas de simulación son clasificables primeramente en dos grandes grupos:

- Sistemas de Simulación de Propósito General (GPSP por sus siglas en ingles)
- Sistemas/Paquetes de Simulación Orientados a Aplicaciones (AOSP)

GPSP o también llamados lenguajes de simulación: éstos eran generales en su naturaleza y con un modelo desarrollado en código; aunque eran de gran beneficio por su flexibilidad fueron difíciles de utilizar, ejemplos de ellos son: GPSS, SIMSCRIPT III, MODSIM II, SIMAN V y SLAMSYSTEM.

AOSP o también llamados Simuladores de propósito especial: los cuales fueron orientados a aplicaciones particulares y su modelo fue desarrollado para el uso de gráficas, cajas de dialogo, menús sube-baja; en diferencia de los primeros, este tipos de simuladores se distinguían por ser no flexibles pero fáciles de usar.

Ejemplos para manufactura son: AutoMod, Enterprise Dynamic, Flexsim, **ProModel**, QUEST, SIMFACTORY II.5 y WITNESS.

Por supuesto en otras categorías pueden encontrarse otros.

2.4 Modelos de simulación

Los modelos de simulación son la aproximación que tiene el prototipo con la realidad que se está representando, y estos se clasifican en: (Hoover & Perry, 1989 según (Parra Arango, y otros, 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 da salida y vuelve a usarse como valor de entrada.

2.5 Simuladores tipo discreto útiles en la Manufactura

La naturaleza de las variables aleatorias discretas se orienta al conjunto finito o limitado de valores (Render, Stair, & Hanna, 2012). Paralelamente y de acuerdo a (Möller, 2014) se ratifican los siguientes postulados:

- Los modelos de simulación de naturaleza discreta obedecen a esta condición; elemento que favorece a los procesos de manufactura.
- Características comunes de estos sistemas de simulación son la inclusión de interfaces de usuario graficas, animación y salidas colectadas automáticamente para medir el desempeño del sistema.
- Los resultados son desplegados en formas graficas o tabulares en reportes estándar e interactivamente mientras corre la simulación.
- Es común observar análisis estadístico que incluya intervalos de confianza para la medición del desempeño y su comparación.

Algunas herramientas de simulación en este campo son: (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005): Arena, AutoMod, CSIM, DEVS, Extend, GPSS, MODSIM; **ProModel**, SIMAN, SIMFACTORY, SIMSCRIPT, SLAMSYSTEM, QUEST, WITNESS, etc.

2.6 Aplicaciones

Son muchas las aplicaciones de modelos de simulación que se pueden desarrollar entre los que pueden mencionarse 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, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005).

2.7 Condiciones propicias para hacer una simulación:

No todas las situaciones son viables de ser simuladas, ya sea por la simplicidad de su proceso o por la complejidad que representa, en ambos casos resulta inconveniente invertir tiempo y dinero. Por el contrario cuando hay la necesidad de modelar y analizar aleatoriedad, estaremos requiriendo de la simulación (Anu, 1997). El mismo autor anterior establece algunas de las condiciones específicas que hacen adecuada la simulación, y son:

- Experimentación o procesos a observar son imposibles o muy caros de realizar en la realidad, ejemplo desempeño de próxima transbordador espacial, etc.
- Problemas en los cuales el modelo matemático puede ser formulado pero las soluciones analíticas son imposibles (ejemplo problemas de programación de tareas de taller, etc.) o demasiado complicadas (ejemplo sistemas complejos del mercado de valores, etc.).
- Validación del modelo matemático que describe el sistema es imposible o extremadamente caro.

Una vez detectadas las condiciones propicias el marco para el desarrollo está listo: (Anu, 1997), aquí una secuencia de desarrollo:

1. Identificar el problema
2. Formular el problema
3. Colectar y procesar los datos del sistema real
4. Formular y desarrollar el modelo
5. Modelar el modelo
6. Documentar el modelo para uso futuro
7. Seleccionar apropiadamente el diseño del experimento
8. Establecer las condiciones experimentales para las corridas
9. Desarrollar las corridas de la simulación
10. Interpretar y presentar los resultados
11. Recomendar cursos de acciones futuras

2.8 Ventajas y desventajas de la utilización de la simulación

Resumen contenido en la Tabla 1 y referido a las ventajas y desventajas de la simulación según: (Coss Bu, 2003), (Möller, 2014):

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la simulación

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

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.

3. Análisis de software comercial de simulación para procesos de manufactura

De inicio vale la pena comentar que los software de simulación aquí presentados para su análisis han sido seleccionados basados en la experiencia y disponibilidad de uso de los autores de este trabajo y sus colegas, quienes apoyados en la literatura que a continuación se muestra son detallados para su uso en el área de la simulación de procesos de manufactura, en la aclaración de que no se hace ninguna promoción o sugerencia de elección de los mismos, corresponde al lector establecer su propio juicio de elección.

- ProModel
- FlexSim
- Arena

3.1 ProModel

Software seleccionado a causa de su disponibilidad en muchas universidades y en la industria (Möller, 2014). Apoyado en mismo autor se enumeran las siguientes características:

- Desarrollado para sistemas de animación y simulación,
- Principalmente diseñado para modelar sistemas de manufactura.
- Ofrece simulación basada en diagramas de flujo para procesos de negocio.
- Ofrece tecnología LEAP, descrita abajo:
Tecnología LEAP siglas en inglés de Locaciones, entidades y procesos de arribo. Donde los elementos de modelación que lo componen son partes o entidades, locaciones, recursos, redes de trayecto, logística de proceso y ruta, y arribos.
- Ofrece atributos, redes, recursos, macros y variables globales.
- Las corridas de simulación pueden ser trazadas sobre la pantalla al igual que las variables globales y el número de las entidades en locaciones individuales, lo que permite un entendimiento claro del sistema completo por el usuario, minimizando la naturaleza de caja negra de la simulación.

Este software comercial es uno de los más usado en el mercado, el cual se enfoca a procesos de fabricación de uno o varios productos, líneas de ensamble de transformación, entre otros. (Garcia-Dunna, Garcia-Reyes, & Cardenas-Barrón, 2006),

En la figura 1 y 2 se muestran pantallas de ProModel, una vista de programación de locaciones y un ejemplo de una simulación sobre análisis de incremento en costo de producto a causa de cantidad de personal, respectivamente.

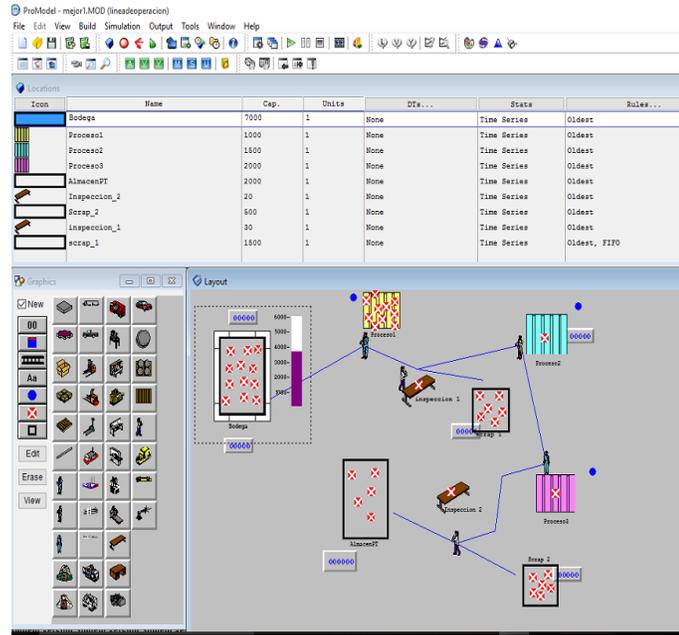


Fig. 1. Programando locaciones con ProModel (Fuente: propia)

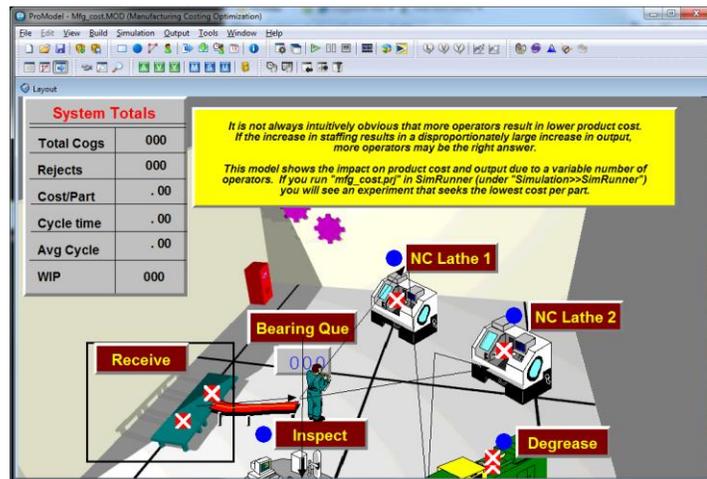


Fig. 2. Estudio de costo de producto por cantidad de personal involucrado (Storify, 2016)

3.2 FlexSim

Software que permite modelar, simular, predecir, visualizar y entender con precisión problemas de sistemas de manufactura y logística sin la necesidad de programaciones complicadas.

Las siguientes son algunas justificaciones para su uso basado en (Simón-Marmolejo, Santana-Robles, Granillo-Macías, & Piedra-Mayorga, 2013):

- Orientación a objetos, permitiendo mayor visualización del flujo de producción,
- Ambiente 3D
- Permite importar objetos desde software de diseño como: AutoCAD, ProfE, SolidWorks, Catia, etc.
- Permite simulación de sistemas combinados continuos-discretos además de discretos solamente
- Facilidad de programar distintos escenarios y condiciones variadas
- Entorno realista: Permite que las distribuciones de probabilidad pueden ser representadas con gran precisión en lugar de valores promedio
- Visualización de gran calidad para gráficas, reportes y estadísticos.
- Versatilidad de aplicación a diferentes campos: salud, logística, manufactura, minería, centros aeroespaciales, servicios (administración y recursos humanos).

Además favorece características distintivas como (Planet together, 2015):

- Predice y visualiza sistemas de manufactura y de logística
- Interface visual del usuario de gran apoyo para optimizar el sistema

La figura 3 y 4 muestran representaciones de simulación con FlexSim. La primera mostrando una corrida y la segunda una perspectiva final de un caso particular.

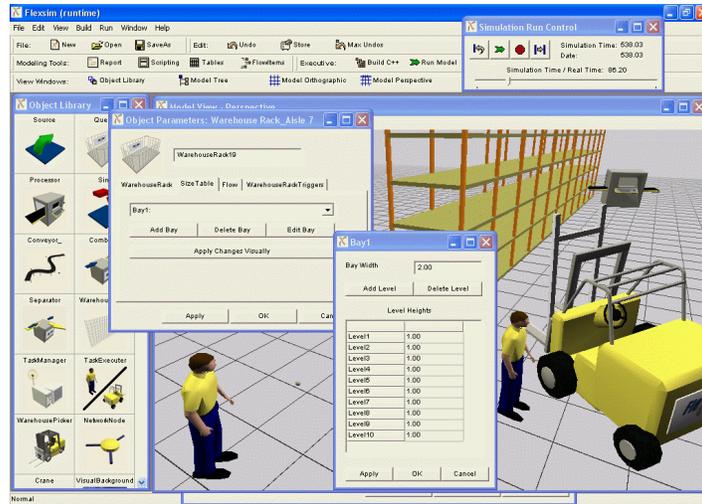


Fig. 3. Software FlexSim y su menú principal en una corrida. Fuente: (Planet together, 2015)

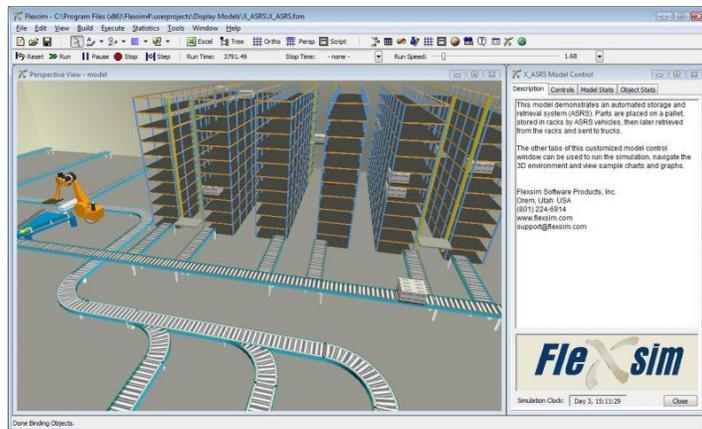


Fig. 4. Modelo de Almacenamiento automatizado y sistema de recuperación en FlexSim.

Fuente (ASE GmbH, 2016)

3.3 Arena

De acuerdo a (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2005) podemos decir que este software de simulación provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una gran variedad de campos y sus principales características son:

- Soporta sistemas de simulación discreta y continua, o bien combinada.

- La edición Arena Básica está orientada a modelar procesos de negocio y otros sistemas en dinámica de procesos de flujos jerárquicos y almacenamiento de sistemas de información en hojas de cálculo.
- Compatibilidad de salidas a hojas de cálculo, procesadores de texto y de flujo de operaciones en ambiente Windows.
- Diseño basado en objetos.
- Enfoque a manufactura y sistemas de manejo de materiales, aunque también usado en otros entornos (incluidas otras versiones de la familia).
- La edición Arena Professional es sobresaliente ampliamente en personalización de objetos de simulación, terminología, lógica de procesos datos, métricos de desempeño y animación.
- Animación que incorpora a AutoCAD, Visio y otros gráficos.

Las figuras 5 y 6 muestran representaciones de Arena.



Fig. 5. Simulación para manufactura en Arena. Fuente: (Rockwell Automation, 2016)

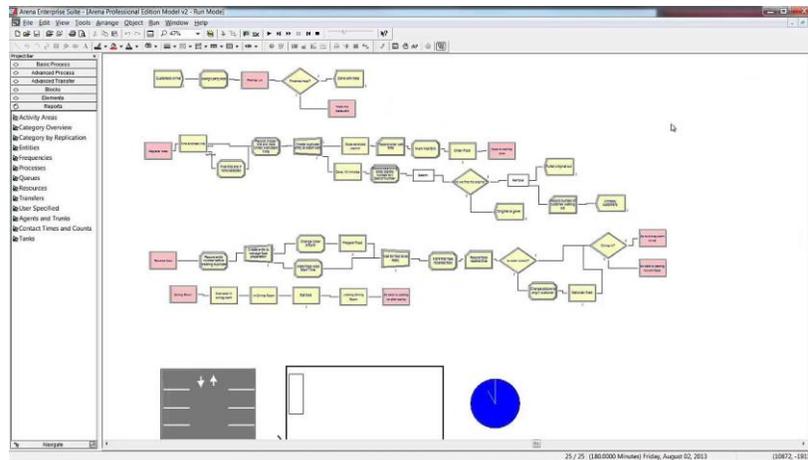


Fig. 6. Simulación para manufactura en Arena. Fuente: (Mimesis Soluciones LTDA, 2015)

3.4 Resumen de análisis de lenguajes de simulación de procesos de manufactura

Se aclara que este tipo de lenguajes de simulación de propósito de aplicación son manejados por usuarios-tomadores de decisión que no siempre tienen conocimiento de la metodología de modelación y simulación; razón que justifica la intención de identificar para ellos un software de alto nivel de simplicidad y comprensión visual.

La siguiente tabla 2 refleja el resumen del software antes revisado.

Tabla 2. Resumen del software de simulación de procesos

Simulador	Tipo de simulador	Campos de aplicación	Atributos sobresalientes	Plataforma	Generación de gráficas
PROMODEL	Eventos Discretos	Procesos manufactura, logística, manejo de materiales, etc.	Animación de modelos bajo estudio importación de layout CAD, imágenes y fotografías digitales Ofrece simulación basada en diagramas de flujo para procesos de negocio Análisis estadístico de rendimientos, cuellos de botella, utilización, etc.	Sistema operativo Windows	3D
FLEXSIM	Eventos Discretos y/o continuos	Procesos de manufactura, eliminación de residuos, manejo de materiales, almacenamiento, minería, logística, cadena de suministro, salud, aeroespacial.	Interfaz gráfica 3D sobresaliente Importaciones de objetos desde software de diseño (AutoCAD, SolidWorks, Catia etc) Análisis estadístico de rendimientos, cuellos de botella, utilización, etc.	Sistema operativo Windows	3D y 2D.
ARENA	Eventos discretos Continuos Discreto-continuos	Cadena de suministros, Procesos de manufactura, logística, distribución y almacenamiento y sistemas de servicio.	Ofrece simulación basada en diagramas de flujo para procesos de negocio Animación que incorpora a AutoCAD, Visio y otros gráficos	Sistema operativo Windows	sí, para diseños estadísticos y analiza aspectos que son parte del estudio. 2D y 3D.

4. Modelo de simulación de procesos para el mejoramiento del desempeño operacional basado en ProModel

Hablar de modelo implica entender que nos referimos a un punto de referencia a seguir en una perspectiva más simple de lo que el sistema original es en la realidad; y consecuentemente modelar sería el proceso a construir tal referencia, es decir tal modelo.

En esta lógica debe desarrollarse el modelo de simulación que será la base de la experimentación, el análisis y finalmente los resultados que harán del sistema analizado, uno mejorado. La figura 7 muestra una representación gráfica de este razonamiento.



Fig. 7. El modelo de simulación, fundamento para el desarrollo de la simulación. Fuente propia.

El siguiente es un modelo ejemplo en el desarrollo de una simulación de procesos de manufactura, mismo que se basa en el mencionado en el punto 2.7 y es el fundamento de un estudio completo de simulación:

Paso 1. Identificar el problema.

Un cierto sistema genérico de producción que cuenta con tres etapas en su proceso, una evaluación interna y una etapa de inspección final, requiere ser utilizado con propósitos de entrenamiento y a la vez se pretende evaluar sus límites de capacidad en la producción de piezas ante el análisis de diferentes escenarios.

Paso 2. Formular el problema.

Al final de las operaciones del día se ha identificado que existen irregularidades en los inventarios, mostrándose específicamente que las cantidades de componentes entrantes no corresponden a las salidas, al mismo tiempo analizando el proceso se aprecian algunos tiempos muertos y cuellos de botella en la operación, lo que representa desbalanceo entre etapas; por tal motivo es necesario efectuar un completo análisis para buscar la estandarización y así la reducción del desperdicio antes mencionado.

Paso 3. Recolectar y procesar los datos del sistema real

La línea de producción registra llegadas paralelas de dos componentes diferentes a la bodega de materia prima con capacidad de 7000 piezas. Las llegadas son a razón de 600 cada uno para ambos componentes, cada 10 horas durante 15 ocasiones. Los componentes salen del inventario de la bodega de materia prima para unirse en el proceso 1; el tiempo que tardan en ensamblarse es de 1 minuto, de ahí salen como un producto ensamblado y son trasladadas por un operario para ser inspeccionado. Después de ello los ensambles pueden ser aceptados y otros no, en tal caso pasan al scrap 1 (desperdicio 1), mientras que las piezas buenas se llevan al proceso 2, donde se realiza una operación de un minuto y otro operario lo recoge y lo lleva al proceso 3. Aquí, el producto tarda 2 minutos en ser procesado y se envía a inspección final para su posterior revisión. La evaluación final es realizada por un inspector quien dirige el producto defectuoso a un área denominada scrap 2 y el material que es aceptado se turna al almacén de producto terminado.

Paso 4. Formular y desarrollar un modelo

En consideración de los elementos del sistema original real se desarrolló un modelo utilizando ProModel. Entre los elementos que dieron lugar a su elaboración se incluye la programación de locaciones, definición de entidades, llegadas de materia prima, rutas y procesos. Se verificó que cada elemento del sistema de producción fuera reproducido en el modelo. Aquí la estructura inicial:

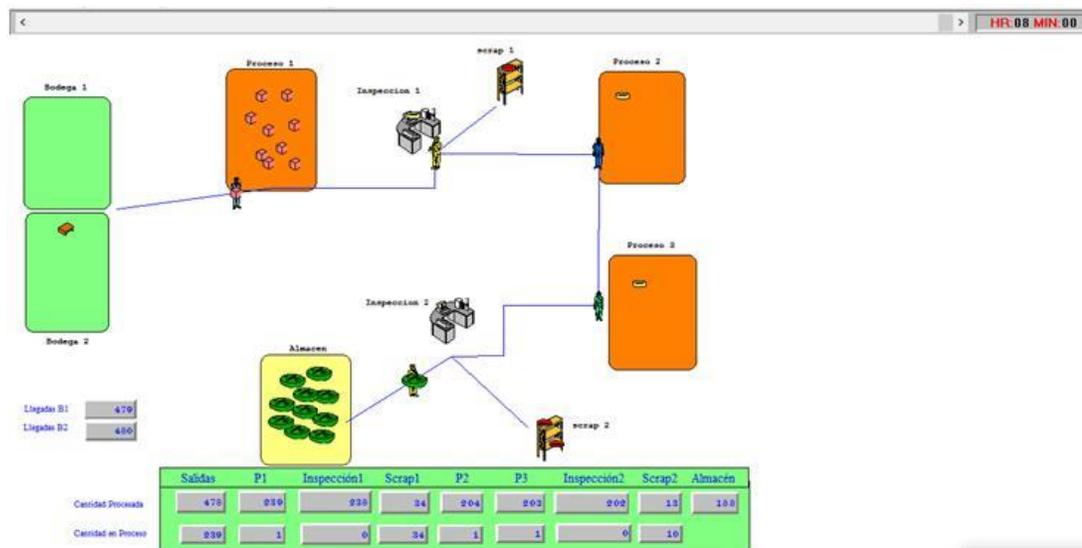


Fig. 8. Modelo del sistema reproducido inicialmente. Fuente propia.

Paso 5. Validar el modelo

Para llevar a cabo esta etapa fue necesario efectuar una comparación entre el modelo generado y las estadísticas de las condiciones conocidas del sistema real original. Esto propició análisis de largas corridas con resultados altamente semejantes después de comparación. La evaluación incluyó la participación del personal conocedor del proceso pero neutral a la validación para apoyar el elemento de imparcialidad del ejercicio.

Paso 6. Documentar el modelo para uso futuro

El desarrollo de este artículo y el inicio de la continuación del mismo han sido efectuados con el propósito de documentar el ejercicio de simulación, garantizando una estructura para futuros usos.. En ejercicios realizados en la industria se recomienda integrar la documentación del modelo al sistema de calidad para hacerlo auditable y respetable.

6. Conclusiones y futuros trabajos

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.

7. Agradecimientos.

Nuestro agradecimiento a la Secretaria de Educación Pública (SEP) y el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), además a la Universidad Autónoma de Coahuila y todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

8. Bibliografía

- Anu, M. (1997). INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION. En K. J. ed. S. Andradóttir (Ed.), *the 1997 Winter Simulation Conference* (págs. 7-13). Washington DC, USA: IEEE Computer Society.
- ASE GmbH. (- de - de 2016). *FlexSim, 3D Simulation Software*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de FlexSim, 3D Simulation Software: <http://www.ase.ch/en/flexsim.html>
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Events System Simulation*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Cantú González, J. R., Gómez González, C., & Rosano Ortega, G. (2012). DETERMINING THE PERFORMANCE EVALUATION MANAGEMENT IN THE UNIVERSITY BY AHP. En R. a. 5th International Conference of Education (Ed.), *ICERI2012 Proceedings* (págs. 3040-3046). Madrid, España: IATED (Indexed by Web of Knowledge).
- Carrillo, J., & Gomis, R. (2003). Los retos de las maquiladoras ante la pérdida de. *Comercio Exterior*, 53 (4), 318-327.
- Coss Bu, R. (2003). *Simulación. Un enfoque práctico*. México: Limusa.
- Davis, K., & McKeown, P. (1986). *Modelos cuantitativos para administración* (1a. ed.). Belmont, California: Iberoamérica.
- García-Dunna, E., García-Reyes, H., & Cardenas-Barrón, L. E. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México: Pearson Educación de México, SA de CV.
- Hoover, S. V., & Perry, R. (1989). *Simulation: A Problem-Solving Approach* (1a. ed.). Prentice Hall.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2008). *Simulación con software Arena* (4a. ed.). México, D. F. : McGraw-Hill.
- Mimesis Soluciones LTDA. (- de - de 2015). *Mimesis-soluciones. Arena Professional Edition*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de Mimesis-soluciones. Arena Professional Edition: <http://www.mimesis-soluciones.com/arena-professional/>
- Möller, D. P. (2014). *Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation. Computational Foundations and Multimodal Applications*. London : Springer-Verlag.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *Procedia CIRP 25 2014 – “Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution”* (págs. 213 – 229). ND: Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.
- Parra Arango, J. L., Rodríguez Rodríguez, A., Beltrán Bejarano, D. M., Onofre Rodríguez, H. G., Bueno Guzmán, G. A., López Forero, M. T., y otros. (Julio de 2005). Modelo de Simulación Sistema

de Producción Bovino Doble Propósito Piedemonte llanero. *Boletín de Investigación No. 07* . Villavicencio, Meta, Colombia: Corpoica.

Planet together. (- de - de 2015). *Visualizing simulations with FlexSim*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de Visualizing simulations with FlexSim: <http://www.planettogether.com/blog/visualizing-simulations-with-flexsim>

Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios* (11a. ed.). México: Pearson.

Rockwell Automation. (- de - de 2016). *Manufacturing Simulation Software*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de Manufacturing Simulation Software: <https://www.arenasimulation.com/industry-solutions/manufacturing-simulation-software>

Simón-Marmolejo, I., Santana-Robles, F., Granillo-Macías, R., & Piedra-Mayorga, V. M. (2013). La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. *científica* , 17 (1), 39-49.

Skinner, W. (1969). Manufacturing-missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review* , 47 (3), 136-145.

Storify. (- de - de 2016). *Storify - PROMODEL*. Recuperado el 13 de 03 de 2016, de Storify - PROMODEL: <https://storify.com/6194374/ProModel>

Tenescu, A., & Teodorescu, M. (2014). Lean Manufacturing: a concept towards a sustainable management. *Communications in Applied Sciences* , 2 (1), 97-110.