

HACIA EL USO DE LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Lilia Teresa Bermúdez Correa*
Diego Andrés Carreño Dueñas**

Resumen

El presente trabajo, apoyado en una revisión documental sobre distintos campos de acción de la técnica de simulación, busca dar una visión general sobre el uso de la simulación de procesos en la resolución de problemas empresariales, con el propósito de evidenciar su alto potencial aplicativo, enfocándose particularmente en el tema del análisis de los proyectos de inversión.

Palabras Clave: Análisis de sensibilidad, Proyectos de inversión, Simulación de procesos, Toma de decisiones.

Abstract

This work is supported by a literature review on various fields of action, about the simulation technique, it seek to give an overview on the use of process simulation to solve business problems, with the purpose of demonstrating their high potential application, focusing particularly on the subject of the analysis of investment projects.

Keywords: Sensitivity Analysis, Investment Projects, Simulacion Process, Decision Makin, Models, Risk.

*Docente Investigador de la Escuela de Administración Industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo
E-Mail: liliateresabermudez@yahoo.com

**Docente Investigador de la Escuela de Administración Industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo
E-Mail: diego.carreno@uptc.edu.co

1. 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.

Quienes gerencian organizaciones, cada vez más apelan al uso de herramientas cuantitativas para encontrar rumbos de acción y sustento a sus decisiones. Las épocas en las que las decisiones eran tomadas sólo a partir de la intuición de quienes dirigían están quedando atrás.

Los modelos matemáticos de optimización, la teoría de juegos y simulación, por mencionar sólo algunas, hacen parte del conjunto de herramientas que aplican actualmente los directivos en sus empresas. La tendencia se da hacia la utilización de modelos que permitan el uso no estructurado de la información existente, con el fin de representar de una mejor manera el ambiente de negocios cambiante en el que se vive hoy.

Dentro de las áreas de mayor importancia en una organización y que presentan un potencial tanto académico como investigativo, se encuentra la financiera, que brinda los soportes adecuados para lograr el propósito económico de las empresas ya constituidas o de los proyectos de inversión (Greasley A 1999).

Desde sus inicios, la simulación se ha aplicado a diversos sectores, tales como la manufactura, el comercio y servicios, defensa, salud, y los servicios públicos. Es reconocida como la segunda técnica más utilizada en el ámbito de la gestión de operaciones (Gambardella L 1998, Rizzoli Greasley A 1999). Su uso ha sido transformado por la

invención y la evolución de la computadora. La adopción de herramientas de simulación y otras técnicas que apoyan al directivo en la toma de decisiones; se ha venido constituyendo en un importante campo de aplicación de la investigación de operaciones en la gestión empresarial. La idoneidad, la conveniencia y pertinencia de las técnicas de simulación es un factor importante a considerar en el análisis del mundo real (Fleisch E. Telkamp C. 2005), ya que existe actualmente una creciente necesidad de abordar la complejidad de toda la empresa y las dificultades de tratar las diferentes etapas de la toma de decisiones dentro de un sistema productivo (J. Bocker, J. Lind, B. Zirkler. 1999).

Con la aparición de la computadora digital a principios de los años cincuenta, se dinamizó el desarrollo de gran cantidad de herramientas analíticas que han tenido un profundo impacto en el campo científico, cuyos usos y aplicación se han extendido a diversas disciplinas como administración, economía, finanzas, sistemas, ciencias naturales, etc.

Existe una serie de revisiones bibliográficas sobre la aplicación de la simulación a la industria y los negocios (D.N. Ford, J.D. Sterman 2003), en la cual un gran número de trabajos han girado en torno a la aplicación de la simulación en la gestión de la cadena de suministros (M. Jahangirian, T. Eldabi, A. Naseer, K. Stergioulas 2009), en el análisis de los procesos de ingeniería de producción, en el estudio de eventos discretos, en sistemas de fabricación flexibles, y en la dinámica de sistemas (F. Chan, H.K. Chan 2004), así como también a la gestión de operaciones. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se limitan ya sea a una sola técnica o a un área de aplicación.

El objetivo general de este escrito es destacar el uso de la simulación como herramienta en la toma de decisiones bajo riesgo en las empresas y específicamente en el análisis de proyectos de inversión; 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.

Es de destacar que no hay principios ni teoremas de simulación, pero sí existen aspectos de la simulación que pueden estudiarse con gran beneficio para el análisis de inversiones, puesto que esta técnica presenta un desarrollo paralelo en sus etapas de realización con las del proceso de inversión.

2. Fundamentación teórica

Simulación, en el sentido más común de la palabra 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 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.

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.

Existen varias definiciones de simulación dentro de las cuales se destacan:

Para TOM H. NAYLON, bajo el término simulación se entiende la técnica que se utiliza para conducir

experimentos en una computadora. Tales experimentos facilitan comprender ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas que son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo.

Según WRIGHT, "simular" significa duplicar la esencia de un sistema o una actividad sin llegar a la realidad misma. Define la simulación como una técnica "que implica la estructuración de un modelo que representa una situación real (sistema), para después realizar experimentos sobre el modelo."

Para MAISEL, la simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora, involucrando, para tal caso, el empleo de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas reales que pueden ser económicos, biológicos, sociales, físicos o químicos durante largos períodos de tiempo.

BOBILLER en 1976, define la simulación como una técnica para la construcción y operación de un modelo de un sistema real con la finalidad de estudiar el comportamiento de este, sin romper su entorno.

La simulación viene tomando auge como mecanismo para describir y analizar el comportamiento de una organización y el entorno en el cual opera. Se puede decir que simular o emular como se ha comenzado a conocer en el ámbito académico es básicamente representar matemáticamente el comportamiento de los actores de un entorno y su forma de relacionarse.

Los modelos de simulación en los negocios permiten describir y analizar el comportamiento de una organización y el entorno en el cual opera, así como cuál sería el impacto en el sistema y en

Realidad	Delimitación del sistema	Modelo de simulación	Caracterización del sistema	Realidad
	<ul style="list-style-type: none"> - Limitación - Reconocimiento - Identificación 	Formulación de modelo - Implementación - Prueba - Validez del modelo - Expresión de modelo	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretación - Estructuración - Integración 	
	ANÁLISIS Para la configuración del procedimiento inverso	CONFIGURACIÓN Para el análisis del procedimiento inverso		

Figura 1. Simulación bajo un enfoque sistémico.

cada uno de los actores al tomar una determinada medida o decisión.

En síntesis, podemos afirmar que la simulación puede ser designada como experimentos con modelos de sistemas. Para TAYLOR, la simulación puede ser definida como una técnica numérica para la realización de experimentos con determinados tipos de modelos matemáticos, los cuales describen el comportamiento de un sistema complejo en un amplio espacio de tiempo, mediante el empleo del computador.

3. Metodología de la simulación

La simulación depende directamente del tiempo, por lo tanto, permite representar muy bien las condiciones e interacciones internas del sistema que se está modelando. De esta forma, es posible no sólo describir la forma como el sistema se comporta, sino que además permite analizar cuál sería el impacto de una decisión en el sistema y en cada uno de los actores.

El reto actual es contar con las habilidades necesarias para desarrollar este tipo de modelos, que fundamentalmente se sintetizan en la capacidad de ver los sistemas como un todo y en una mente que entienda las relaciones causa-efecto que se dan entre los diferentes actores que

hacen parte de una red de valor.

La realización técnica de experimentos de cálculo con modelos de simulación exige la disponibilidad de una ayuda electrónica para el procesamiento de datos. La ejecutoria de un experimento de simulación se fundamenta en la operacionalidad de las siguientes etapas:

1. Formulación del problema de investigación.
2. Formulación del modelo de simulación, el cual, por lo general, es un modelo matemático.
3. Elaboración del programa computacional para el modelo de simulación. Aquí, se trata de escribir y desarrollar el programa de computación.
4. Juicio de validez, tanto del modelo, como del programa.
5. Desarrollo de 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.

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.

6. Análisis e interpretación de los resultados del experimento. 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. Una visualización que facilita hacer asequible la interpretación de un modelo de simulación respecto a la configuración de una metodología de sistemas se presenta en la figura 1.

3.1 Ventajas del uso de la simulación

Una de las principales ventajas que provee la simulación frente a otras técnicas matemáticas de soporte para la toma de decisiones radica en la flexibilidad que tiene para representar relaciones entre actores de una red de valor. Un modelo de simulación permite incluir las relaciones causa-efecto y de retroalimentación, mientras que herramientas cuantitativas tales como los modelos de optimización o los análisis de regresión, dificultan o imposibilitan la representación de dichas relaciones.

Según Naylor (1971), los estudios de simulación

son muy recomendables en razón a que presentan ventajas que ofrecen un alto grado de confianza en los resultados.

Dentro de éstas, son de resaltar:

1. Los estudios de simulación permiten analizar los efectos provocados por cambios internos y externos del sistema, al hacerle modificaciones en su comportamiento.
2. La técnica de simulación puede ser usada para adelantar experimentos en nuevas situaciones, de las cuales se tiene poco o ningún conocimiento.
3. Durante la experimentación articulada a la simulación, se puede llegar a anticipar sobre posibles mejores resultados no previstos.
4. La utilización de la simulación en la investigación de sistemas complejos puede constituirse en una herramienta de suma importancia, puesto que permite una mayor operación del sistema, a la vez que facilita detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y, así mismo, poder entender mejor las interrelaciones entre ellas.

Dentro de los estudios revisados se destacan estudios de Ingeniería de Procesos de Fabricación como el realizado por (J.D. Blocher, R.W. Garrett, R.W. Schmenner, 1999), en los cuales se incluye tanto el proceso de diseño como el de mejora que representa el segundo más popular en la aplicación de la simulación (A. Barua, N. Raghavan, A. Upasani, R. Uzsoy 2005). También son de destacar otras aplicaciones en el ámbito de la Gestión de la cadena de suministro, en el trabajo desarrollado por (C.C. Bosarth, W.L. Berry 1997, P.J. Byrne, C. Heavey 2006), en análisis de la estrategia mostrado por (G. Cachon, M. Fisher 1997), en ruteo de vehículos y gestión de transporte (J. Bocker, J. Lind, B. Zirkler. 2002), y Gestión de Proyectos. Varios de los autores revisados coinciden en que la simulación es considerada como la principal técnica para apoyar el proceso de toma de

decisiones, debido a la flexibilidad en el proceso de modelado y al desarrollo de herramientas informáticas como ProModel, Flesxim y Arena, entre los más representativos.

Lo anterior demuestra el creciente interés de otras áreas de la organización en el uso y aplicación de la simulación para hacer frente a problemas en temas referentes a planificación de la producción, control de inventarios y diseño de estrategias

Varios de los estudios revisados destacan que esta técnica ha sido adecuada en la adopción de decisiones no solo operativas sino también tácticas aplicadas en aspectos como diseño de políticas, desarrollo de estrategias y en la gestión de proyectos. Se encontró también que una amplia gama de organizaciones empresariales a nivel mundial han adoptado la simulación como una herramienta fundamental para apoyar el proceso de toma de decisiones, en sus actividades misionales.

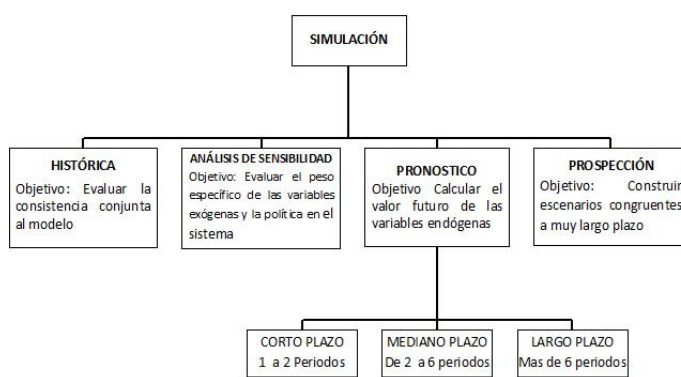


Figura 2: Usos de la simulación.

La simulación de Monte Carlo fue una de las primeras técnicas de simulación desarrolladas, la cual ha jugado un papel significativo en la estructuración de aplicaciones posteriores a pesar de que su uso se limita principalmente a eventos determinísticos.

En la actualidad esta técnica está recibiendo atención especial en los ámbitos de la educación y la capacitación los cuales la han aplicado en los llamados juegos de simulación demostrando su utilidad práctica en ramas económicas como las de seguros, servicios financieros, y en las cadenas de suministros.

Se han adelantado estudios en los que se ha precisado que la simulación virtual ofrece a las empresas la capacidad de modelar y simular un sistema en tres dimensiones. El medio ambiente

de inmersión es por lo general utilizado por administradores e ingenieros para tener una imagen más clara y más confiable de cualquier cambio y evaluar el impacto en el sistema (J.A. Barton, D.M. Love, G.D. Taylor 2001), como por ejemplo en el desarrollo de productos, la planificación de la producción, el análisis conjunto de estudio y trabajo, el lugar de trabajo, diseño, simulación, operación y distribución de la planta (K.A. Chatha, R.H. Weston 2005).

Si bien es cierto que en los trabajos encontrados se identifica una marcada tendencia hacia el análisis de sistemas de producción y manufactura existe un notable crecimiento en estudios de carácter administrativo y de negocios, lo que puede atribuirse a la forma en que son presentadas las herramientas informáticas a los usuarios.

El aumento en los estudios de simulación podría estar justificado por la suposición de que los beneficios emergentes de estas técnicas son cada vez más evidentes en la práctica. Por otra parte la simulación de juegos ha sido utilizada principalmente en entornos educativos con los alumnos como los actores dispuestos a participar en un entorno interactivo (E. Fleisch, C. Tellkamp, 2005), desarrollando habilidades gerenciales en los estudiantes que participan en estos ejercicios.

3.2 Usos y aplicaciones de la simulación

Hace dos décadas se podía decir que la simulación estaba limitada a su aplicación en el ámbito de las universidades o de las grandes corporaciones. Con el incremento en el poder de computación y la reducción de los costos de la misma, hoy en día se tiene a disposición la suficiente capacidad para simular un entorno de negocios.

La idea central detrás de la simulación en la gestión empresarial en el contexto del mundo de los negocios es capturar, en un programa de computador, la incertidumbre en el efecto de las decisiones que genera la variabilidad de aspectos tales como la demanda de un producto y/o servicio, o la oferta de materias primas requeridas para un proceso productivo.

Durante los casi 60 años de existencia de la simulación como una técnica formal para el estudio y análisis en las áreas de producción, manufactura, gestión empresarial, mercadeo y finanzas entre otros ha dado lugar a un amplio espectro de aplicaciones exitosas en diferentes áreas como el diseño, planificación y control, elaboración de estrategias, asignación de recursos, formación y capacitación de personal etc. Los principales usos de la simulación se presentan en la figura 2.

Existe una gran cantidad de áreas donde la técnica de simulación puede ser aplicada, algunos ejemplos son los siguientes:

Simulación de un sistema de colas. Con la técnica de simulación es posible estudiar y analizar sistemas de colas cuya representación matemática sería demasiado complicada de analizar.

Simulación de sistemas de inventarios. A través de la simulación se puede analizar más fácilmente los sistemas de inventarios donde todos sus parámetros (tiempo de entrega, demanda, costo de llevar inventario, etc.), son estocásticos.

Simulación de sistemas económicos. La técnica de simulación puede ser utilizada para evaluar el efecto de cierto tipo de decisiones (devaluación de la moneda, el impuesto al valor agregado, etc.), en las demás variables macroeconómicas como: producto nacional bruto, balanza comercial, inflación, oferta monetaria, circulante, etc.

Simulación de estados financieros. La expansión y diversificación de una organización a través de la adquisición y establecimiento de nuevas empresas, repercuten significativamente en su posición y estructura financiera. Por consiguiente, el uso de simulación permite analizar cuál de las estrategias de crecimiento son las que llevarán a la organización al logro de sus objetivos y metas de corto, mediano y largo plazo.

Simulación de juegos de azar. Se pueden hacer predicciones sobre los resultados de un juego en particular, en donde las variables involucradas son estocásticas.

4. Simulación y evaluación de proyectos de inversión

Una de las principales aplicaciones de la simulación tiene lugar en el análisis de los proyectos de inversión como campo explícito del proceso de toma de decisiones empresariales bajo riesgo. Existen en la práctica una gran cantidad de proyectos de inversión donde la incertidumbre con respecto a los flujos de

efectivo que el proyecto genera a diversas tasas de interés, e inflación, etc., hacen difícil y a veces imposible manejar analíticamente este tipo de problemas. Para este tipo de situaciones el uso de simulación es ampliamente recomendado.

Las técnicas de simulación son una extensión del enfoque de probabilidad. Este enfoque implica la estimación de un solo resultado: el VAN (valor actual neto). Pero en la mayoría de los proyectos de inversión, un conjunto de factores influencia este resultado final, incluyendo los ingresos y costos estimados, la tasa de actualización o tasa de rendimiento, la vida de la inversión y su valor esperado final. La simulación permite que cada uno de estos inputs sea tratado como un riesgo.

La utilización de un enfoque de simulación requiere:

- Identificar las variables clave del proyecto de inversión.
- Considerar la diversidad de valores que estas variables podrían asumir.
- Asignar probabilidades a cada uno de estos valores.
- Generalmente, disponer de una aplicación informática para manejar la simulación.

Mediante la utilización de los valores, junto con sus probabilidades de las variables clave, se obtiene un conjunto de posibles VAN, los cuales dan al responsable de la toma de decisiones, una idea de los riesgos asociados con el proyecto de inversión.

Sin embargo, hay que tener cuidado a fin de detectar la dependencia entre variables (por ejemplo, podría existir una correlación entre la vida de un proyecto y su valor esperado final). En todo caso, el éxito de la simulación depende, al

final, del responsable de la toma de decisiones, que debe asegurar que se identifican todas las variables clave y que la gama de valores y probabilidades asignados a las mismas son realistas.

4.1 El análisis de sensibilidad como simulación

EL análisis de sensibilidad aplicado a la evaluación financiera de un proyecto de inversión opera en forma similar a la simulación, pero es menos complejo y comprensivo. Mediante este enfoque se identifican aquellos inputs en el proceso de decisión acerca de un proyecto de inversión que tiene un impacto significativo sobre el VAN. Esto se consigue recalculando el VAN de un proyecto, cambiando sólo una variable clave cada vez, de forma que pueda determinarse su efecto sobre el VAN.

Si el cambio en el valor de una variable clave tiene poco efecto sobre el VAN, entonces es improbable que una correcta decisión de inversión descansa sobre la precisión del valor estimado de esa variable. Sin embargo, si un cambio pequeño en el valor de una variable produce un impacto significativo sobre la viabilidad de un proyecto, entonces el proyecto es altamente sensitivo a esa variable, pues ésta contribuye significativamente al riesgo del proyecto. En ese caso, el responsable de la toma de decisiones es alertado por la necesidad de precisión en la determinación del valor probable de esa estimación.

Por todo ello, el valor del análisis de sensibilidad es doble:

- Permite la identificación de las variables que impactan significativamente el VAN de forma que su correcta estimación pueda ser considerada.
- Asiste en la identificación de proyectos de inversión de alto riesgo debido a la naturaleza

Locación	Descripción	Inversión Inicial	Costo de Operación /Kilovatio Hora	Capacidad de Producción dada por las especificaciones técnicas de la máquina	
				Pieza	N(2,0.5)
Limpieza	Equipos utilizados y puesto de trabajo para el desengrase de las piezas que van a ser mecanizadas.	7.000	0.09	Pieza	N(2,0.5)
				Piñón	N(4,08)
Tomo	Se considera un equipo CNC semiautomático.	30.000	0.27	Pieza	N(3,0.6)
				Piñón	N(6,0.1)
Fresadora	Se considera un equipo CNC semiautomático.	40.000	0.27	Pieza	N(4,0.1)
				Piñón	N(5,0.4)
Inspección	Equipo utilizado y puesto de trabajo para comparar superficies y dimensiones.	8.000	0.09	Pieza	N(6,0.2)
				Piñón	N(2,0.2)

Tabla 1. Descripción de Elementos Tecnológicos

Operarios	Descripción	Costo de hora laborada por cada operario	
		Peso	Costo
4	Los operarios se consideran técnicos en máquinas y herramientas	3.71	
Materia Prima		Peso	Costo
Barra Lisa SAE 1020		3.92 Kg	5.24

Tabla 2. Descripción de Personal y Materia Prima.

volátil, o incierta, de las variables clave, y permite la obtención de un VAN esperado para esos proyectos.

El análisis de sensibilidad es, asimismo, un precursor de la simulación, de forma que el responsable de la toma de decisiones se pueda centrar en incrementar la precisión en los datos necesarios para obtener las variables que son esenciales en la evaluación de un proyecto de inversión.

El problema surge de nuevo cuando las variables clave son mutuamente dependientes. Este efecto puede superarse parcialmente tratando las variables dependientes como una única variable y ajustando sus valores proporcionalmente, basado en las relaciones esperadas entre ellas.

El apoyo que brinda la simulación en los proyectos de inversión esta dado en la capacidad que tiene

esta herramienta en valuar su implementación en las empresas.

4.2 Una aplicación con PROMODEL

El Apoyo en la evaluación técnica que aporta la simulación utilizando software determina la capacidad de producción de un sistema y la eficiencia de los componentes tecnológicos comparando la capacidad de producción con los costos asociados a la producción de los bienes.

Un modelo de ProModel tiene la capacidad de representar un sistema de producción en operación, y puede establecer las unidades producidas en cierto intervalo de tiempo, para el objetivo del proyecto se supone una demanda esperada y no se consideran unidades en almacenamiento, el volumen de producción se proyecta y se evalúa el tiempo que tarda en retornar la inversión inicial con la capacidad de producción manteniendo en operación el

sistema. En el siguiente ejemplo se representa un taller de mecanizado compuesto por los siguientes medios tecnológicos ver tabla 1.

- **Inversión Inicial:** Los valores se encuentran dados en dólares americanos con fecha 20/mayo/2011, datos obtenidos por cotizaciones previas de los equipos dadas por los proveedores.

- **Costo de Operación /Kilovatio Hora:** Este costo es establecido por la empresa de energía de Boyacá.

- **La capacidad de producción:** Está dada en tiempo de puesto de trabajo cuyo comportamiento es el de una variable normal con media y desviación.

En la tabla 2 se encuentran los datos relacionados con el personal requerido por el sistema de producción.

- **Costo de hora laborada:** Los valores se encuentran dados en dólares americanos con fecha 20/mayo/2011, y se calcula el valor de la hora teniendo en cuenta operarios técnicos calificados remunerados con tres salarios mínimos mensuales legales vigentes para Colombia.

- **La información acerca de las características y costo de la materia prima** fueron obtenidas por un proveedor regional.

- Según las características del producto y de la materia prima se ha establecido que de una barra lisa se produce una unidad de cada producto.

Con la información de los anteriores medios tecnológicos y la materia prima utilizada por el sistema de producción propuesto se desarrollan dos productos denominados Piñón y pieza metálica, los cuales son utilizados en la industria de autopartes de la región.

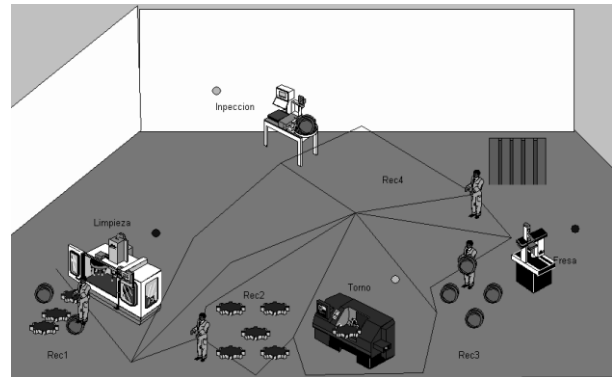


Figura 3. Layout diseñado en ProModel.

Locacion	Tiempos de Proceso	Cuello de Botella
Limpieza	2.00	.70
Torno	3.00	.40
Fresa	5.00	.21
Inspeccion	2.00	.46

Figura 4. Tiempos de proceso en ProModel.

Tiempos de Ciclo	
Pieza	244.41
Piñon	240.59
Unidades Producidas	
Pieza	35
Piñon	49
Piezas en Proceso	
Pieza	33
Piñon	47

Figura 5. Unidades producidas en ProModel

En la figura 3 se visualiza el layout o distribución en planta del sistema productivo representado con ProModel®.

Con las características dadas se modela el sistema y luego de una corrida de producción los resultados de tiempos de proceso, porcentaje de cuello de botella y unidades producidas se presentan en las figuras cuatro y cinco.

Producto	Unidades Producidas				
	Hora	Turno	Día	Mes	3 Meses
Pieza	4,375	35	105	3150	9450
Piñón	6.125	49	147	4410	13230
Total	10.5	84	252	7560	22680

Tabla 3. Proyección de unidades de producción

Costos de producción dados en Dólares Americanos					
	Hora	Turno	Día	Mes	3 Meses
Cuatro Operarios	14,84	118,72	356,16	10684,8	32.054,40
Máquinas	0,72	5,76	17,28	518,4	1.555,20
Materia Prima	27,51	220,08	660,24	19807,2	59.421,60
Total	43.07	344.56	1033.68	31010.4	93.031.20

Tabla 4. Costos de producción Vs Tiempos de operación.

Elemento	Monto
Capital de trabajo incluye: mano de obra, materia prima y costo de operación de las máquinas	93.031.20
Inversión en maquinaria y equipo	85.000.00
Total	178.031.20

Tabla 5. Inversión Inicial y capital de trabajo.

Unidades producidas /Mes	Costo de producción, incluido costos administrativos y de venta	Precio de venta	Ingreso
7560	5.535	7.75	2.215
Total mensual	41.844.6	58.590	16.745.4

Tabla 6. Ingreso y costo de producción de un mes.

Proyectando los datos obtenidos de una corrida de ocho horas presentadas en las figuras cuatro y cinco se tienen los resultados de la Tabla 3.

En la tabla 4 se relacionan costos de producción Vs tiempos de operación.

De las tablas tres y cuatro obtenemos que en una hora se producen en promedio 10.5 unidades de productos y que su costo de producción es de 43.07usd, de esta manera el costo de producir una unidad de cualquier producto es de 4.10usd, resultado este último de dividir las unidades producidas y el costo de producción.

Con el costo de producción anterior se calcula el precio de venta del producto, incrementando en un 20% por concepto de costos administrativos y un 15% en costo de ventas, con estos nuevos porcentajes el costo de producción es de 5.535usd y sobre este precio se calcula una rentabilidad del 40% es decir que el precio de venta al público es de 7.75usd.

4.3 Análisis financiero

De acuerdo con las necesidades de operación del sistema, dentro de la inversión inicial es necesario un capital de trabajo para tres meses, en la tabla cinco se resume la información sobre inversión inicial y capital de trabajo para 3 meses.

Con el precio de venta al público y las unidades producidas de la tabla tres se calculan el ingreso de un mes de producción.

Para iniciar el proyecto y poner a funcionar el sistema de producción, el inversionista debe asumir un monto de 178.100usd, esto sin tener en cuenta el concepto de terrenos ni edificios.

Consultando con varias entidades financieras se ofrecen créditos especiales para las pymes con tasas preferenciales entre el 5% y el 8% anual mes vencido; por tal motivo se tomo un promedio

PERIODO	FLUJO DE FONDOS
1	-178.100,0
2	13.280.4...
3	13.280.4...
...	...
24	13.280.4

Tabla 7. Flujo de fondos para 24 periodos de un mes.

dando como resultado una tasa del 6.2% y un plazo de 60 meses.

Dado el monto inicial de 178.100usd una tasa del 6.2% amv y un plazo de 60 meses la cuota mensual resultante es de 3.465usd; en ese sentido los ingresos mensuales son de $(16.745,4 - 3.465) = 13.280.4usd$

Con los anteriores flujos de fondos en cada uno de los periodos, y utilizando la fórmula financiera de la hoja de cálculo de Microsoft Excel TIR tasa interna de retorno, y según las condiciones dadas del proyecto, se puede decir que la tasa interna a la inversión luego de dos años es del 5%.

Utilizando los datos anteriores se calcula la VAN, dando como resultado que el valor neto actual de esta inversión es de 60.027.31usd.

De esta manera el inversionista puede tener una mayor certeza a la hora de tomar una decisión de invertir su capital y puede configurar su sistema de producción de acuerdo con los niveles de producción de los medios tecnológicos que piensa adquirir para su sistema de producción.

5. Conclusiones

La simulación es una herramienta de carácter analítico que ha tenido un profundo impacto en el campo científico.

Los modelos de simulación pueden ser manipulados en diferentes formas, las cuales serían

imposibles, poco factibles y demasiado costosas si se realizara a través de otras metodologías.

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.

La simulación a pesar de su popularidad a nivel mundial, en Colombia aún no ha alcanzado el nivel de desarrollo que se tiene en otros países, debido tal vez a la falta de divulgación por parte de la academia, a la poca credibilidad en sus resultados y a la falta de estudios referenciados para empresas locales, regionales y nacionales. Quizá con el desarrollo de aplicaciones informáticas y con un mayor impacto en la sociedad por parte de las universidades y centros de investigación es probable que crezca su uso y difusión en los próximos años.

En términos generales, se podría afirmar que durante la última década, las investigaciones desarrolladas entorno de la simulación de procesos han propiciado una gran diversificación en el desarrollo de esta técnica apoyada en el uso de aplicaciones informáticas, permitiendo nuevas oportunidades de investigación pero también trayendo consigo nuevos retos y desafíos para la academia, evidenciando la obligación de aportar con conocimiento y desarrollo al sector productivo del país.

Se hace necesario promover más investigaciones, que permitan representar y analizar problemas aplicados a la industria apoyadas en estudios de caso analizando el éxito y el fracaso de la simulación como una herramienta para apoyar el proceso de toma de decisiones.

En la actualidad la simulación ha tenido mayor aplicación en el área de producción para el estudio y análisis de procesos productivos industriales con el fin de identificar ineficiencias operativas y de capacidad instalada.

Es necesario explorar la pertinencia del uso y

aplicación de la simulación en las áreas de mercadeo y finanzas temas básicos para la formulación y evaluación de proyectos de inversión.

Bibliografía

- H.A. Akkermans, K.E. Van Oorschot, Relevance assumed: A case study of balanced scorecard development using system dynamics, *Journal of the Operational Research Society* 56 (8) (2005) 931–941.
- R. Boel, L. Mihaylova, A compositional stochastic model for real-time freeway traffic simulation, *Transportation Research Part B: Methodological* 40 (4) (2006) 319–334.
- J. Butler, D.J. Morrice, P.W. Mullarkey, A multiple attribute utility theory approach to ranking and selection, *Management Science* 47 (6) (2001) 800–816.
- P.J. Byrne, C. Heavey, The impact of information sharing and forecasting in capacitated industrial supply chains: A case study, *International Journal of Production Economics* 103 (1) (2006) 420–437.
- G. Cachon, M. Fisher, Campbell soup's continuous replenishment program: Evaluation and enhanced inventory decision rules, *Production and Operations Management* 6 (3) (1997) 266–276.
- Cárdenas B.L.;García D. E.;García R.H. (2006). Simulación y análisis de sistemas con ProModel, 1ª ed. Pearson Prentice hall.
- K.A. Chatha, R.H. Weston, Combined enterprise and simulation modelling in support of process engineering, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 18 (8) (2005) 652–670.
- Coss B.R. (2003). Simulación un enfoque práctico 1ª Ed. Limusa.
- T. Eldabi, M. Jahangirian, A. Naseer, L.K. Stergioulas, T. Young, N. Mustafee, A survey of simulation techniques in commerce and defence, in: *Proceedings of the Operational Research Society, Fourth Simulation Workshop, Worcestershire, UK, 2008*, pp. 275–284.
- Mohsen Jahangirian , Tillal Eldabi , Aisha Naseer a, Lampros K. Stergioulas , Terry Young, Simulation in manufacturing and business: A review, *European Journal of Operational Research* 203 (2009) 1–13
- A. Greasley, Simulation in process design, *Manufacturing Engineer* 78 (4) (1999) 173–177.
- Pinilla G.V (2004). Simulación: Introducción teórica y aplicaciones en Administración 1ª Ed. Uniandes
- Schrage M. (2001). *Serious Play – How the World's Best companies Simulate to innovate* 1ª Edition ed Oxford.