

Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo
Departamento de Ingeniería
Industrial

Procedimiento para la simulación computacional de procesos productivos

Tesis presentada en opción al título en
Ingeniería Industrial

Autora: Yusmari Aldana Castillo

Tutor: Ing. Pedro A. Díaz Leyva

Consultante: Ing. Luis O. Castellanos Pérez

Holguín, 2016

A la memoria de Enrique Castillo,...

a mi abuelo Brun



Agradecimientos

Obviamente a mi Dios y salvador Jesús: Gracias por darme aún más de lo que merecí.

A mi familia: Ustedes son mi más grande tesoro. Gracias por ser mi soporte en todo tiempo y mi mayor orgullo en esta vida.

*A mi familia del **cuarto siete**: No hubiese querido pasar cinco años de mi vida con otras personas más que con ustedes.*

*A los muchachos del **grupo universitario de Holguín**, que han sido una gran bendición en mi vida.*

*A mi tutor, **Pedro**, por no cansarse de darnos terapia ocupacional en los momentos de estrés.*

A todos los profesores que a lo largo de mi vida ha contribuido a mi desarrollo intelectual y humano.

*A todos los que de una forma u otra han hecho posible este logro:
¡Muchísimas gracias!*



Resumen

La simulación de procesos se ha convertido en una de las herramientas más populares para el análisis de sistemas empresariales al demostrar ser particularmente eficaz para valorar diferentes alternativas de solución de problemas sin ser necesaria la experimentación con el sistema real. Sin embargo, el uso de la simulación como herramienta de diagnóstico y mejora de procesos productivos es un campo relativamente joven y escaso de estudios dedicados a la confección de marcos metodológicos que permitan llevar a cabo tales proyectos. Paralelamente, el reciente desarrollo de simuladores enfocados hacia diagramas de flujo y la creciente necesidad de elevar la eficiencia de los procesos empresariales en los diferentes sectores de la economía, hacen necesario el desarrollo de un procedimiento para simular estos procesos de forma fácil y práctica, para personas no experimentadas en áreas como la programación y modelación matemática, objetivo por el cual se desarrolla la siguiente investigación.

En su concepción, el procedimiento propuesto consta de tres etapas en las que se insertan un conjunto de elementos que permiten sentar las bases del correcto desarrollo del estudio de simulación, y se sustenta casi por completo, de softwares capaces de modelar procesos mediante el apoyo de diagramas de flujos, lo que suministra una vía fácil y cómoda para modelar procesos.

Durante el transcurso de la investigación se aplicaron métodos teóricos y empíricos que permitieron el cumplimiento del objetivo propuesto. El procedimiento diseñado fue validado mediante el método de validación prospectiva de modelos académicos, concluyéndose que es capaz de cumplir con los fines para los que fue creado.

Abstract

Process simulation has become one of the most popular business analysis to prove to be particularly effective for assessing different alternatives for solving problems without being necessary experimentation with the real system. However, the use of simulation as a diagnostic tool and improvement of production processes is a relatively young and sparse field dedicated to making methodological frameworks to carry out such projects studies. Meanwhile, the recent development of simulators focused flowcharts and the growing need to increase the efficiency of business processes in different sectors of the economy, necessitating the development of a procedure to simulate these processes easy and practical way to people not experienced in areas such as programming and mathematical modeling purpose for which the following investigation unfolds.

In its conception, the proposed procedure consists of three stages in which a set of elements that allow lay the foundation for proper development of simulation study are inserted, and is based almost entirely of software capable of modeling processes by supporting flowcharts, which provides an easy and convenient way to model processes.

During the course of theoretical and empirical research methods that allowed the fulfillment of the proposed objective were applied. The procedure designed was validated by the method of prospective validation.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Marco Teórico-Referencial.....	6
1.1 Generalidades de los procesos productivos.....	7
1.2 Evaluación de procesos. Herramientas para la evaluación de procesos.....	10
1.3 La simulación de procesos. Características y generalidades.....	16
1.3.1 Origen y evolución de la simulación.....	18
1.3.2 Características y generalidades.....	20
1.4 Análisis de procedimientos para la simulación de procesos asistida por computadora.....	23
Capítulo 2. Diseño de un procedimiento para la simulación computacional de procesos productivos.....	30
2.1 Procedimiento para la simulación computacional de procesos.....	30
Etapa 1: Preparación inicial.....	31
Etapa 2. Modelado y experimentación.....	37
Etapa 3. Control y mejora.....	44
2.2 Validación prospectiva del procedimiento propuesto.....	45
Valoración económica y social.....	51
Conclusiones.....	52
Recomendaciones.....	53
Bibliografía.....	54
Anexos.....	62

Introducción

La globalización de la economía y la irrupción de las nuevas tecnologías han transfigurado el entorno competitivo en el que las empresas del nuevo milenio desarrollan su actividad haciéndolo cada vez más incierto. Hasta hace pocos años, la alternativa utilizada para medir la eficiencia de una empresa se basaba en el análisis exhaustivo de su balance y cuenta de resultados, es decir, de su información financiera (Nogueira, Medina, & Nogueira, 2003); sin embargo, actualmente, ante los desafíos que plantea el ámbito empresarial (entorno turbulento e impredecible, tecnologías emergentes y variables, expansión de los mercados, etc.) las empresas se enfrentan a la necesidad de evolucionar para adecuarse a nuevos escenarios.

Paralelamente, desde el punto de vista de la empresa misma, se ha de hacer frente a una mayor competencia y relacionarse con clientes cada vez menos cautivos al disponer de un elevado grado de información sobre el mercado. Ello se traduce en una irremisible baja de resultados y una incertidumbre que admite elevados niveles de riesgo. (Belda & Grande, 2009)

En este contexto, el reto de las organizaciones radica en adaptarse a estos cambios enfocando sus acciones hacia la implementación de métodos, técnicas y herramientas que aseguren su efectividad. Precisamente nuestro país se encuentra inmerso en un profundo proceso de cambio organizacional impulsado por la actualización del modelo económico cubano y ratificado por los lineamientos aprobados en VI Congreso del Partido en 2011. La política económica y social establecida exige que las empresas cubanas operen con eficiencia y competitividad y garanticen la calidad de sus producciones de manera que se logre la plena satisfacción de las necesidades de la población (Lineamientos 01, 05, 07, 17, 129, 132, 142). Lo anteriormente expuesto evidencia una cada vez mayor necesidad de desarrollar y utilizar instrumentos que permitan a los directivos predecir, comparar y mejorar el comportamiento de sus procesos en aras de perfeccionar sus acciones de gestión, operacionales y de toma de decisiones.

Son innumerables los mecanismos diseñados para mejorar la efectividad de los procesos productivos que, en el ámbito empresarial, pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos; sin embargo, durante los últimos años se ha observado una creciente preferencia en la utilización de los denominados métodos científicos¹, que abarcan técnicas seleccionadas de ramas como la matemática, ingeniería y administración de empresas.

Entre las herramientas típicas utilizadas se encuentran los análisis estadísticos, redes neuronales, optimización (lineal, no lineal, entera, estocástica, multiobjetivo), simulación, teoría de decisión y de juegos, teoría de colas, de grafos o flujos de redes, entre otras (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, & Linares, 2010), las cuales se han visto generosamente favorecidas con el desarrollo de las tecnologías modernas; sin embargo, algunos autores (Law & Kelton, 2000) insisten en que la simulación es, probablemente, la herramienta más ampliamente utilizada en la investigación de operaciones y ciencias administrativas.

Como su nombre lo indica, la simulación es el desarrollo del modelo de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso o de un sistema real a través del tiempo. Sea realizada a mano o en una computadora, involucra la generación de una historia artificial, y su observación mediante la manipulación experimental permite inferir las características operacionales de tal sistema (Azarang & García, 1996). Como herramienta para la toma de decisiones posibilita a la organización, a través de asistentes informáticos que agilizan su explotación, estudiar los distintos parámetros que caracterizan sus procesos permitiendo analizar diferentes escenarios sin necesidad de modificar las condiciones existentes en la realidad, lo que viabiliza los procesos de cambios en las organizaciones, optimiza el tiempo y minimiza el consumo de recursos económicos en el proceso de implementación de mejoras (Guasch, Pera, Casanovas, & Figueras, 2003); además permite analizar diferentes alternativas de organización del trabajo en un espacio de tiempo limitado sin tener que realizar inversiones y gastos de recursos en el sistema real.

¹ Por métodos científicos se entiende la acumulación de información, el análisis de esta información por técnicas adecuadas, la síntesis y toma de decisiones, todo ello utilizando una base matemática. (Himmelblau & Bischoff, 1973)

La rápida evolución de las tecnologías de la información y la comunicación ha hecho posible que la simulación se haya convertido en una poderosa herramienta para la evaluación de procesos y flujos productivos, debido a que permite estudiar las complejas interacciones que ocurren en el interior de un sistema dado, reduciendo significativamente el riesgo asociado del proceso de toma de decisiones (Pérez I. , 2001). De igual manera, permite realizar cálculos de carga y capacidad en líneas productivas o de servicio, del nivel de utilización de los equipos o recursos y otros indicadores que permiten monitorear el estado del proceso (Sifuentes, Dávila, Toledo, Carbajal, & Uribe, 2000).

Al considerar las ventajas que ofrece, no es de extrañar que su uso se haya generalizado en casi todos los sectores de la economía y la sociedad; sin embargo, a pesar su factibilidad como herramienta para la evaluación de flujos y procesos productivos, tradicionalmente su uso requiere cierto nivel de conocimientos en el campo de la dinámica de sistemas y modelación matemática lo que dificulta, hasta cierto punto, la plena utilización de esta herramienta en cualquier tipo de empresa, fundamentalmente las del sector no estatal o pequeñas empresas carentes de los recursos humanos capacitados para tales fines.

La creciente necesidad de elevar la eficiencia de los procesos empresariales y el auge del sector no estatal, exigen el desarrollo de mecanismos que brinden facilidades para el diagnóstico, evaluación y mejora de los procesos, así como confiabilidad en los resultados alcanzados. En tal sentido, el reciente desarrollo de simuladores cada vez más amigables para con el usuario y que admiten que el analista² pueda prescindir de la confección de complejos modelos lógico-matemáticos para poder obtener los resultados deseados ha permitido mejorar esta situación; sin embargo, aún no se han dado los pasos necesarios para desarrollar una metodología para llevar a cabo estudios de simulación que muestre tales bondades.

Tras lo anteriormente expuesto se reconoce como **situación problemática** de la presente investigación la carencia de un procedimiento para la simulación

² Entiéndase como la persona que desarrolla el estudio de simulación

computacional que permita la evaluación y mejora de procesos productivos en un entorno simple y práctico para las organizaciones actuales.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado se define como **problema científico** que fundamenta esta investigación: ¿cómo diseñar un procedimiento para la simulación computacional de procesos que permita la evaluación y mejora de procesos en un entorno comprensible y capaz de ser utilizado por cualquier organización?

El **objeto de estudio** se centra en la evaluación y mejora de procesos.

Se plantea como **objetivo general** de la investigación diseñar un procedimiento para la simulación de procesos asistida por computadora. Para darle cumplimiento al objetivo planteado se trazan los objetivos específicos siguientes:

1. Elaborar el marco teórico referencial de la investigación a partir de las generalidades de los procesos productivos, el análisis y evolución de las herramientas de evaluación de flujos productivos, las características y generalidades de la simulación de procesos y el análisis de procedimientos para la simulación de procesos asistida por computadoras.
2. Diseñar un procedimiento para la simulación de procesos asistida por computadora.
3. Validar el procedimiento propuesto a través del método de validación prospectiva de modelos académicos.

El **campo de acción** es la simulación de procesos productivos asistida por computadoras.

Para la solución al problema científico se plantea como **hipótesis** que: si se diseña y valida el procedimiento para la simulación computacional de procesos se contribuirá al diagnóstico y mejora de procesos productivos de forma simple y práctica para las organizaciones actuales.

En el desarrollo de la investigación se utilizó un conjunto de métodos teóricos y empíricos que incluye técnicas y herramientas de la ingeniería industrial y otras especialidades análogas.

Métodos teóricos:

- Histórico- lógico para caracterizar la evolución y desarrollo de la simulación

- Analítico- sintético para desarrollar el análisis de la información obtenida a partir de la revisión de la literatura y la documentación especializada, así como de la experiencia de los especialistas y trabajadores consultados
- Inductivo- deductivo: para el diseño del procedimiento
- Sistémico- estructural: para abordar el carácter sistémico del procedimiento

Métodos empíricos:

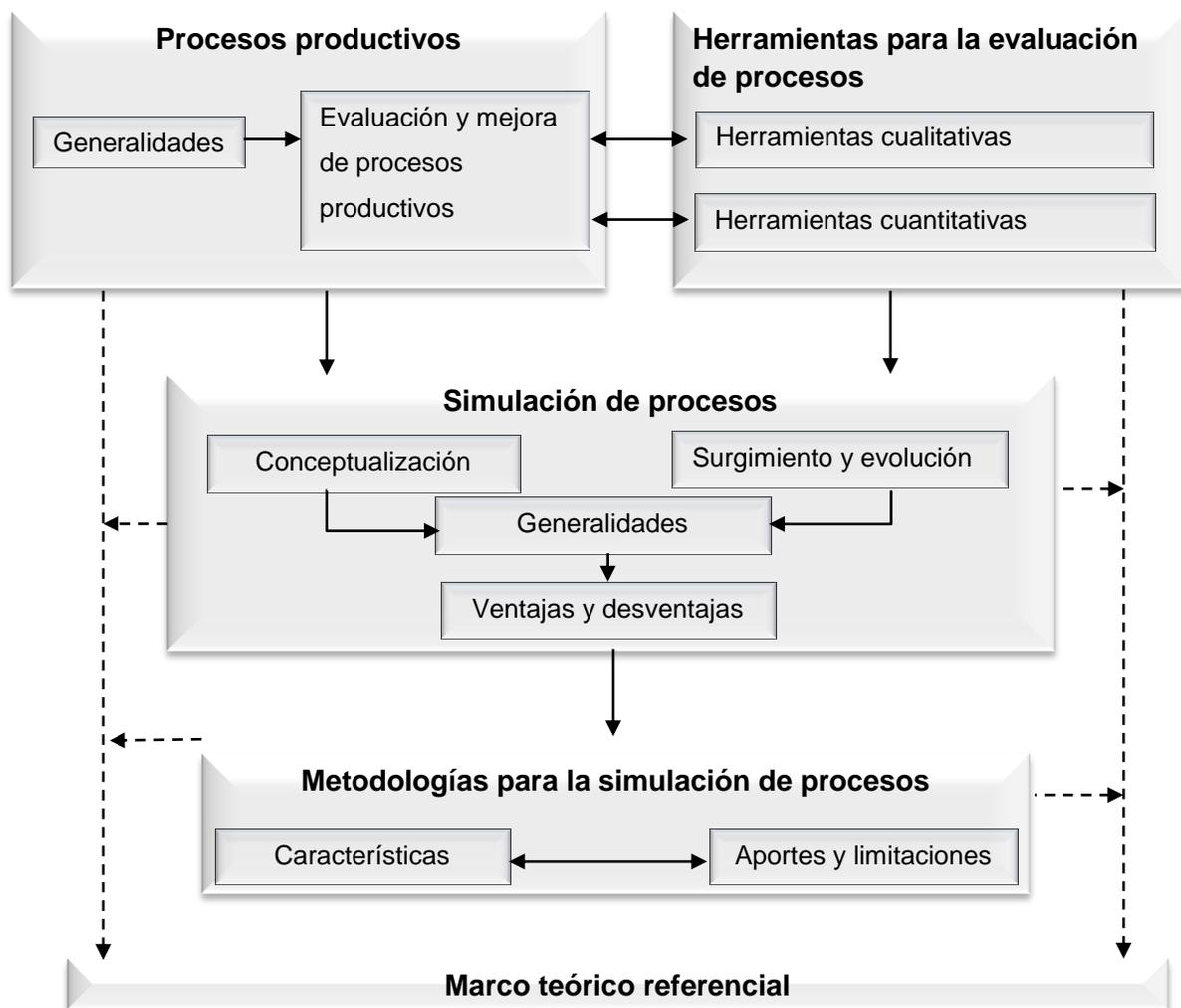
- Revisión documental, entrevistas, encuestas, métodos de expertos, técnicas matemáticas y estadísticas para el procesamiento de la información

Para su presentación, esta investigación se estructura mediante un capítulo 1, en el que se expone el marco teórico-referencial que sustentó la investigación; un capítulo 2 que contiene la descripción del procedimiento desarrollado y su posterior validación mediante el método de validación prospectiva para modelos académicos; las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación; la bibliografía consultada y un conjunto de anexos de necesaria inclusión, como complemento de la investigación realizada.

Capítulo 1. Marco Teórico-Referencial

La consulta a la literatura permite que el capítulo se estructure de forma tal que se profundice en el tema objeto de estudio con el fin de sentar las bases teórico-prácticas de la investigación. Este capítulo tiene como propósito realizar un análisis referente a las generalidades de los procesos productivos, las herramientas de diagnóstico y evaluación de procesos, las características y generalidades de la simulación de procesos, así como analizar los aportes y limitaciones de los modelos y metodologías para la simulación de procesos asistida por computadora. Para una mejor comprensión se representa, en la figura 1.1, el hilo conductor del marco teórico referencial que sustenta este capítulo.

Fig. 1.1 Hilo conductor del marco teórico referencial



1.1 Generalidades de los procesos productivos

Los procesos han adquirido una importancia tal que en la actualidad forman parte de las denominadas “buenas prácticas gerenciales”. En tal sentido, puede señalarse que representan una de las perspectivas del cuadro de mando integral, forman una de las cinco claves del Benchmarking (Nogueira et al., 2004), para los productores de clase mundial resultan un arma competitiva (Heizer & Render, 1997) y por último, su estudio es un excelente medio para eliminar despilfarros y actividades que no aporten valor añadido (Medina et al., 2010). (León, Rivera, Nariño, & Viteri, 2012)

Por regla general, detrás del cumplimiento de un objetivo, se encuentra la realización de un conjunto de actividades que, a su vez, forman parte de un proceso por lo que la revisión bibliográfica efectuada en busca de un concepto específico muestra un amplio conjunto de definiciones y criterios al respecto.

Autores como Juran (1993), Raso (2002), Lorino (1993), Gilioli (1997), Pall (1987), Brut (2007), Zaratiegui (1999), Davenport & Short (1990), Davenport (1993) y Nogueira et al. (2004) concuerdan que, en general, un proceso es un conjunto o secuencia de actividades o tareas que añaden valor a un elemento de entrada para obtener cierto resultado o elemento de salida.

Tradicionalmente las decisiones a efectuar sobre los procesos se basan en sus características y clasificación, pero la gran diversidad de procesos existentes hace que sea difícil encontrar una clasificación exhaustiva que de manera unívoca contemple cada caso concreto. Woodward (1965), que fue de los primeros autores en tipificar los sistemas productivos, descubrió que las tecnologías de fabricación se podían encuadrar en tres grandes categorías: producción artesanal o por unidad (producción discreta no-repetitiva), producción mecanizada o masiva (producción discreta repetitiva), y la producción de proceso continuo. Esta tipología distingue entre fabricación unitaria, de pequeños lotes, de grandes lotes, la producción en serie y aquellos procesos de transformación de flujo continuo.

Hopeman (1991), Companys (1986), Díaz (1993) y Schroeder (1992), entre otros, optan por diferenciar los sistemas de producción en dos grandes grupos básicos: sistemas continuos e intermitentes. Otros, como Chase, Aquilano y Jacob (2000),

Ochoa & Arana (1996) y Heizer & Render (1997), prefieren clasificarlos en repetitivos y no-repetitivos. Los primeros, se refieren a la continuidad en sí del proceso de producción y los segundos, a la repetitividad o recurrencia del producto y su proceso. Monks (1992), propone otra clasificación de sistemas de producción, identificando el sistema continuo (operaciones de flujo), sistema intermitente (operaciones de flujo y por lotes), sistema de trabajo interno (por lotes o trabajos únicos) y proyecto (trabajos únicos).

Finalmente, y de acuerdo con (Grau, monografias.com) las clasificaciones más tradicionales de las configuraciones productivas son:

- Según la naturaleza del proceso: proceso industrial y proceso de servicio
- Según la intervención humana: proceso manual, proceso semiautomático y proceso automático
- Según la continuidad del proceso: proceso por proyecto, proceso por lote y proceso continuo
- Según la secuencia o flujo del producto: flujo variable (enfocado en el mercado); flujo intermitente (enfocado en el proceso); flujo en líneas de ensamble (enfocado en la repetitividad); flujo continuo (enfocado en el producto)

En base a la tipología de los procesos productivos y los volúmenes de producción esperados según su clasificación, Hayes & Wheelwright (1984) establecieron, en una matriz, la medida de la flexibilidad de estos procesos mediante lo que se denominó ciclo de vida o evolución del proceso. La figura 1.2 muestra cómo, de acuerdo con esto, los procesos productivos suelen iniciar su vida en una etapa altamente flexible o fluida, pero poco eficiente en términos de costos, lo que va modificándose a través del tiempo mediante su paulatina estandarización, mecanización y automatización hasta culminar integrado a un sistema productivo más intensivo en capital, de operación muy eficiente, pero mucho menos flexible que en su etapa inicial. (Grau, Monografías.com S.A)

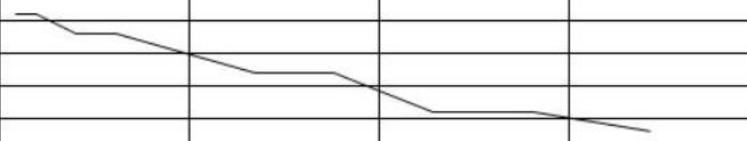
Estructura del Proceso	Bajo volumen Estándar Bajo Un producto	Regular volumen Estándar Reducido Diverso producto	Mediano volumen Estándar creciente Limitado producto	Alto volumen Estándar alto Estrecho producto
Por Proyecto				
Taller a medidas				
Taller por Colección				
Línea				
Continuo				

Fig. 1.2 Matriz producto-proceso; Fuente: (Grau, monografias.com) Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos82/disenio-procesos-productivos/disenio-procesos-productivos.shtml>

Por otro lado, según Trischler (1998), la efectividad de toda organización depende de que sus procesos empresariales estén alineados con la estrategia, misión y objetivos de la institución, lo que hace indispensable que el análisis y mejora de los procesos se lleve a cabo concienzudamente. Para ello, en la literatura se muestran un conjunto de etapas o pasos básicos que deben ser seguidos en aras de llevar a cabo este proceso de forma satisfactoria. La figura 1.3 resume las etapas desarrolladas por Kauro Ishikawa con tales fines.

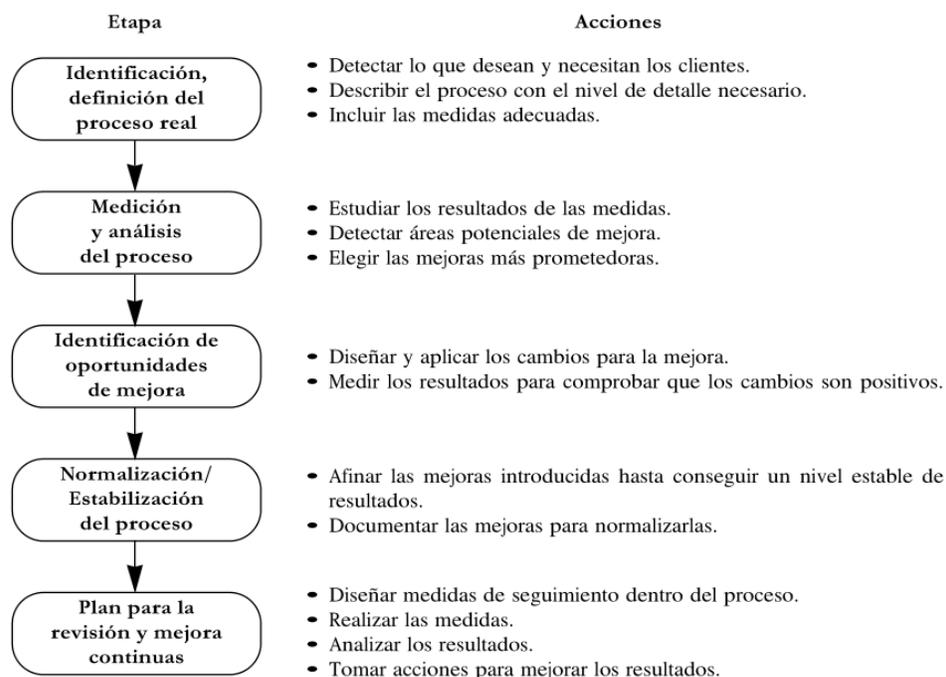


Fig. 1.3 Método sistemático de mejora de procesos; Fuente: (Zaratiegui, 1999)

Los procesos productivos se encuentran expuestos a diversos cambios, justificados o forzosos, tales como el cambio de los materiales o equipos, la adopción de nuevas técnicas o mejoras del procesamiento, modificaciones en el

diseño del producto, etc. La versatilidad de estos escenarios puede generar en la gerencia de las organizaciones cierto nivel de incertidumbre con respecto a la salud de sus procesos, por lo que como antesala para la obtención de información útil para la toma de decisiones se enfatiza en la medición y análisis de estos procesos para lo que se requiere el uso y aplicación de diversas técnicas capaces de contribuir al reconocimiento y la definición de problemas mediante el diagnóstico y la evaluación de los procesos con el fin de determinar los factores fundamentales que influyen en su funcionamiento.

1.2 Evaluación de procesos. Herramientas para la evaluación de procesos

Las herramientas diseñadas para la medición y evaluación de los procesos logran capturar y recolectar datos de su desempeño para un posterior procesamiento y transformación en información útil para la toma de decisiones y la determinación de puntos de mejora. Con la evolución de los procesos empresariales y la maduración del entorno en el que se mueven las empresas se han ido desarrollado varios campos de estudio y disciplinas encargadas de evaluar y mejorar los procesos como apoyo en la toma de decisiones gerenciales, como forma de evaluación de los flujos productivos, como ayuda en las funciones de gestión, como apoyo en el diseño, planificación y predicción o como medios para la resolución de problemas.

Estas disciplinas han incorporado o creado para sí un conjunto de herramientas de diversa índole con el fin de alcanzar los objetivos para los que fueron creadas; algunas son creativas y basadas en la imaginación, otras se basan en técnicas matemáticas, estadísticas o en metodologías concretas; pero todas tienen en común el propósito de mejorar los procesos sobre los que se aplican.

Autores como (Abia & Sánchez, 2003), (Arosemena, 2013), (Lorena, 2005) y (Hernandez, 2009) concuerdan en diferenciar estas técnicas de acuerdo al comportamiento de los resultados obtenidos (técnicas cualitativas) o en cuanto a la comparación numérica de sus resultados (técnicas cuantitativas).

Entre las técnicas cualitativas más representativas se encuentran el *brainstorming* o lluvia de ideas, que es una técnica grupal empleada para la generación de nuevas ideas enfocadas a dar solución a un problema previamente planteado; los

resultados del uso de esta técnica constituyen para las organizaciones un apoyo a la hora de tomar decisiones estratégicas. (Diehl & Stroebe, 1987) La sinéctica es otra herramienta empleada y muy similar a la lluvia de ideas, pero la solución al problema se obtiene con un método más estructurado, pues permite evaluar problemas más complejos al estudiarlos por segmentos; sin embargo, esta técnica requiere cierto entrenamiento del grupo de trabajo, pues se utilizan analogías simbólicas como medios de representación. (Lorena, 2005)

El benchmarking, está catalogada como una de las herramientas de la reingeniería de procesos y se basa en la obtención de información útil que ayude a una organización a mejorar sus procesos. La información obtenida se alcanza mediante la observación de otras instituciones o empresas que se identifiquen como las mejores, o suficientemente buenas, en el desarrollo de aquellas actuaciones o procesos objetos de interés. Esta herramienta está encaminada a conquistar la máxima eficacia en el ejercicio de aprender de la élite en cierto campo y ayudar a mover a la organización desde donde se encuentra hacia donde quiere estar.

El objetivo primordial en el proceso de benchmarking es identificar cuáles son los mejores enfoques que conducen a la optimización de los procesos productivos y las estrategias empresariales a partir del aporte de elementos clave de conocimiento mediante los mejores ejemplos existentes. (www.cge.es/portalcge)

Técnicas empleadas para la búsqueda de consenso como los métodos Delphi y Kendall, voto ponderado, comparaciones apareadas, grupos nominales, entre otras permiten conocer la opinión de un grupo de personas expertas o especialmente interesadas en el diagnóstico, la evaluación y la planificación de procesos, sistemas y situaciones o temas concretos. Por un lado, la experiencia de los expertos sobre la problemática a tratar permite la obtención de resultados confiables hasta cierto punto, basados en el instinto y la práctica; por el otro lado, estos métodos se caracterizan por un alto nivel de subjetividad, pues dependen totalmente de la opinión de personas que pueden, en menor o mayor grado, incurrir en ciertos errores.

Métodos gráficos para la representación de problemas o procesos también tienen cabida dentro del conjunto de las técnicas cualitativas. El diagrama causa-efecto, espina de pescado o de Ishikawa es una técnica gráfica ampliamente utilizada que permite apreciar con claridad las relaciones entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que ocurra. Al ser capaz de facilitar una visualización de las causas principales y secundarias de un problema permite enriquecer su análisis, ampliar la visión para la identificación de soluciones y analizar los procesos en busca de mejoras.

Existe, también, un amplio conjunto de diagramas de procesos destinados a proveer una descripción sistemática de un proceso o ciclos de trabajo, con suficiente detalle como para desarrollar mejoras de métodos. La mayor parte de los diagramas combinan escritos, gráficos y representaciones visuales y cada miembro de esta familia está diseñado para permitir que el analista “vea” claramente el proceso actual. Entre los gráficos más utilizados se encuentran los diagramas de operaciones, diagramas de flujo, diagramas de actividad múltiple, diagramas del puesto de trabajo y diagramas de movimientos simultáneos; estos diagramas son utilizados en el marco de la metodología del análisis de procesos para describir, analizar, entender y mejorar los procesos y eliminar las deficiencias existentes a partir de su representación. (Yah, 2013)

Por otro lado, el conjunto de técnicas cuantitativas existentes se dedica a recoger, procesar y analizar datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. (García & Martínez, 1996) En este sentido existen varias disciplinas como la investigación operativa, la reingeniería y la minería de procesos que, además, han sido desarrolladas con el fin de apoyar las actividades de gestión de las empresas y servir de soporte científico al proceso de toma de decisiones. Las herramientas y técnicas utilizadas por estas disciplinas tienen como común denominador el uso de instrumentos matemáticos y estadísticos y, varias de ellas, son interdisciplinarias.

La red neuronal artificial, por ejemplo, es una técnica asociada a la dinámica de sistemas, investigación operativa, inteligencia artificial y minería de datos. Existen más de quince modelos de redes neuronales como el perceptrón simple, el

Adaline, el perceptrón multicapa, la máquina de Boltzmann, entre otras; todas ellas basadas en el funcionamiento del sistema nervioso, simulando una interconexión de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida. Gráficamente una red neuronal consta de múltiples nodos que constituyen puntos de entrada para los datos, los cuales son agrupados y sometidos a un tratamiento mediante un algoritmo que da lugar a que se obtengan determinados resultados. Se suele decir que las redes neuronales son cajas negras porque el proceso de tratamiento de los datos hasta obtener el resultado no siempre sigue pautas lógicas o comprensibles por el ser humano; sin embargo, su interés radica en que son herramientas útiles para realizar predicciones, por lo que son extremadamente útiles en el análisis de datos de procesos.

Por otro lado, los árboles de decisión han sido utilizados por administradores de organizaciones complejas desde los años cincuenta, fundamentalmente en áreas de investigación y desarrollo, análisis del presupuesto de inversión y en la investigación de mercados. Esta técnica consiste en asignar probabilidades a eventos en condiciones de riesgos o incertidumbre mediante la representación gráfica que ilustra cada estrategia o alternativa a través de una ramificación, lo que le proporciona un aspecto parecido a las ramas de un árbol. Los vértices o nodos representan los eventos de decisión que se representan mediante un cuadro, mientras que los efectos derivados de la decisión se denominan acontecimientos y se representan por medio de un círculo. (Rokach & Maimon, 2008) Los árboles de decisión constituyen diagramas de decisiones secuenciales que muestran sus posibles resultados. El uso de esta técnica permite a las empresas determinar cuáles son sus opciones al mostrar las distintas decisiones y sus consecuencias.

Otra de las técnicas ampliamente utilizadas en el diagnóstico y evaluación de procesos es la optimización. Esta técnica consiste en la selección de la mejor de muchas alternativas, de acuerdo a determinados criterios. Los problemas de optimización generalmente se componen de tres ingredientes elementales: función objetivo, variables y restricciones; resolver un problema de optimización consiste, básicamente, en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer

óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones. (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, & Linares, 2010)

El uso de los modelos de optimización (que abarcan la programación lineal y diferenciable, programación multicriterio, optimización dinámica, teoría del conflicto), se ha extendido ampliamente en la microeconomía y la administración de empresas, ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Constituye, además, un valioso soporte para toma de decisiones en procesos de gestión de inventarios, gestión de las finanzas, asignación de recursos humanos y técnicos, planificación de proyectos, etc. (Abia & Sánchez, 2003)

Dentro de las técnicas cuantitativas para diagnosticar y evaluar procesos también se encuentran algunas herramientas gráficas. Los gráficos de control, por ejemplo, se utilizan para contribuir al control de los procesos mediante la representación gráfica de su comportamiento. A través de su uso es posible observar la tendencia que siguen los procesos, su variabilidad alrededor de una línea central, la existencia de causas aleatorias o de causas asignables de variación a un fenómeno específico, etc.; permite, además, la prevención de fallos antes de que se produzcan piezas defectuosas, juzgar el comportamiento del proceso, el establecimiento de normas de procesos y establecer una guía de evaluación.

Otro de estos gráficos, el diagrama de Pareto, tiene como objetivo principal determinar la importancia relativa de frecuencias de errores o problemas en relación al resto de los problemas encontrados en un mismo proceso. En este diagrama se muestran los problemas por incidencia, en orden decreciente y al mismo tiempo se indica la participación porcentual individual y acumulada. Este tipo de análisis permite discriminar entre un gran volumen de información y concentrar esfuerzos en las causas fundamentales, dejando las causas triviales para ser atacadas posteriormente.

Los histogramas, por su parte, son gráficos capaces de detectar patrones comportamentales que son difíciles de percibir en tablas o listados. Este instrumento vuelve visible la dispersión de datos de un proceso y define acciones requeridas para su control y seguimiento; permite determinar los desvíos o

variaciones de los datos o información que fluye por los procesos en relación a las especificaciones y tolerancias determinadas para los mismos. El histograma se representa mediante un gráfico conformado por rectángulos verticales de igual base y con una altura proporcional a la frecuencia a la que hace referencia.

Algunas de estas técnicas constituyen disciplinas de estudio en sí mismas. La minería de procesos es una técnica de administración de procesos que permite analizar los procesos de negocios de acuerdo con un registro de eventos. Es, además, una disciplina de investigación que se ubica entre la inteligencia computacional y la minería de datos, por una parte, y modelación y análisis de procesos por otra y posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en el sistema.

Según el Manifiesto sobre Minería de Procesos: “las técnicas de minería de procesos son capaces de extraer conocimiento de los registros de eventos comúnmente disponibles en los sistemas de información actuales. Estas técnicas proveen nuevos medios para descubrir, monitorear y mejorar los procesos en una variedad de dominios de aplicación. Hay dos razones principales para el creciente interés en minería de procesos: por un lado, se registran más y más eventos, proporcionando información detallada acerca de la historia de los procesos; por otro lado, hay una necesidad de mejorar y apoyar los procesos de negocio en ambientes competitivos y que cambian rápidamente.”³ (De Gras, 2012)

El uso de esta joven disciplina permite descubrir un modelo en un mínimo tiempo de diseño, minimizar el tiempo de análisis al filtrar situaciones irrelevantes, simular posibles rediseños en ejecución y controlar y rediseñar estratégicamente los procesos.

Por otra parte, la teoría de colas es una técnica utilizada para el estudio de las colas o líneas de espera dentro de un sistema. Ésta teoría permite modelar sistemas en los que varios agentes que demandan cierto servicio confluyen en un mismo servidor, por lo que es muy útil para modelar procesos como la llegada de datos. Este instrumento, permite, además, identificar el nivel óptimo de capacidad

³ Manifiesto sobre Minería de Procesos. Disponible en:
<http://www.win.tue.nl/ieeetfpm/lib/exe/fetch.php?media=shared:pmm-spanish-v1.pdf>

que minimiza el coste de un sistema, evaluar el impacto de las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema, establecer un balance óptimo entre las consideraciones de costes y de servicio, etc. Sin embargo, la teoría de formación de una cola es a menudo demasiado restrictiva matemáticamente como para ser capaz de modelar todas las situaciones verdaderas del mundo real. Los medios alternativos del análisis de la teoría de colas consisten generalmente en simulaciones de ordenador y/o en el análisis de datos experimentales.

En este sentido, la simulación es una de las técnicas cuantitativas más utilizadas en la actualidad. Esta técnica es un procedimiento que estudia un problema al crear un modelo del proceso involucrado y, mediante una serie de soluciones por tanteos organizados, intenta determinar una mejor solución. Es una herramienta muy útil para evaluar la calidad de los diseños de los sistemas antes de su puesta en marcha. En el área de gestión de procesos de negocios, las simulaciones son usadas frecuentemente para testear diseños de varios aspectos de los modelos de procesos (tales como diferentes ubicaciones de las tareas en los controles de flujo, diferentes asignaciones de los recursos, predicciones, análisis *what-if*, etc.) Los modelos están basados en las ejecuciones actuales de los procesos de negocios por lo que reflejan mucho mejor la realidad y, por lo tanto, son más confiables cuando se evalúan los impactos del re-diseño de procesos o cuando se hacen predicciones. (Medeiros, 2008)

Los errores en los que pueden incurrir los decisores durante el transcurso de la toma de decisiones generalmente solo pueden ser descubiertos una vez que ya es difícil, costoso e incluso imposible remediarlos; por tanto, la necesidad de la utilización de herramientas que permitan a las organizaciones evaluar el impacto de los cambios propuestos antes de su implementación, hacen de la simulación de procesos una herramienta valiosa para al análisis de las estructuras organizacionales.

1.3 La simulación de procesos. Características y generalidades

Desde su surgimiento, diversas han sido las acepciones que se acogen a la simulación, que se ha visto modificada con el paso del tiempo y el criterio de

varios especialistas y autores. Para Herbert & Giuliano (1972) la simulación corresponde a un término muy general que constituye un acto o proceso que brinda la apariencia o efecto de alguna parte de la realidad “(...) Simular es obtener la esencia sin la realidad (...)” Lo acertado de esta descripción puede verse empañado por la confusión inherente que puede provocarse si se considera que el modelo de simulación es también la esencia de la realidad.

Con efectos más prácticos, Shannon (1988) describe que es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema. Para Harrell & Tumay (1995) es un medio que permite la experimentación con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno. Harrington & Tumay (1999) incorporan las bondades que ofrece la simulación al aspecto empresarial al afirmar que permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas.

Autores más recientes incorporan el componente computacional/informático como vías para la resolución de los modelos planteados. Según Chung (2004) la simulación es el proceso de creación y experimentación con un modelo matemático informatizado de un sistema físico; mientras que para Ríos (2008), es una técnica numérica para conducir experimentos, en una computadora digital, que comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo.

El estudio de estas definiciones traza una ruta a seguir para adoptar una definición propia que se adapte a los requerimientos de esta investigación; por tanto, se entiende que la simulación es la obtención de resultados a través la experimentación con una representación de la realidad mediante el empleo de un modelo computacional que reaccione de la misma manera que el sistema real, bajo un conjunto de condiciones dadas, con el objetivo de evaluar cursos alternativos de acción con base en hechos y suposiciones. Aunque esta definición

no incluye algunos elementos tradicionales como el uso de los modelos matemáticos y los procesos estadísticos o estocásticos se considera que, a los efectos de la investigación posee los elementos necesarios para su entendimiento y aplicación.

1.3.1 Origen y evolución de la simulación

Según la web oficial de Lander Simulation & Training Solutions S.A se puede considerar que el nacimiento de la simulación data desde el año 1777, en el que se plantea el problema de “La aguja de Buffon”, un método matemático sencillo diseñado para determinar el valor aproximado de n a partir de sucesivos intentos. Durante la primera década del siglo XIX, el estadístico William Sealy Gosset y el también estadístico y matemático Ronald Fisher desarrollan la distribución t de Student que abrió las puertas a la aplicación de la simulación en el campo del proceso de control industrial para descubrir soluciones exactas a problemas clásicos de la industria y la ingeniería.

Luego del surgimiento de los primeros computadores se sientan las bases de la evolución del campo de la simulación y se comienza a cubrir la brecha entre los métodos precomputadora y los algoritmos numéricos programados aplicados a la ingeniería (Scenna, 1999). Durante la segunda Guerra Mundial los matemáticos John Von Neumann y Stanislaw Ulam desarrollan el método de Montecarlo, creado en un principio, para la simulación de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones para el desarrollo de la bomba de hidrógeno. Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar que incluía simulación de trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guía de misiles, etc.

A partir de la década de los 60 empiezan a aparecer en el mercado programas de simulación de sistemas de acontecimientos discretos que poco a poco se empiezan a utilizar para resolver problemas de ámbito civil, lo cual ve gran expansión a la luz de la revolución informática producida a partir de los años 80 en la que el uso de simuladores se generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería.

Actualmente, la simulación ha evolucionado hasta alcanzar una gran complejidad y se utiliza en la toma de decisiones a nivel empresarial y en la resolución de problemas en disciplinas asociadas no sólo al diseño, planeación y control de sistemas de manufactura, sino en otras como mercadotecnia, recursos humanos y finanzas. Su uso se ha extendido, además, a la educación, la medicina, la biotecnología, la farmacología, la aeronáutica e incluso al sector del ocio al entrar en el ámbito familiar con productos de software sofisticados como los simuladores de conducción, de vida, de vuelo, entre otros. El anexo 1 muestra un resumen de la evolución de la simulación en el tiempo.

En Cuba, han sido varios los estudios realizados que utilizan la simulación como herramienta principal. En algunos sectores del país, como el agroindustrial, se han realizado estudios de simulación desde al menos la última década del siglo pasado. Autores como Gómez, Espinosa, & Fernández (1989), Días, Hurtado, Aladro, Pérez, Días, & Oramas (1992), Torres & Ortiz (2005), Hernández, Soto, & Caballero (2009), Cid, López, González, Herrera, & Ruiz (2011), entre otros, han realizados importantes aportes en cuanto al estudio de parámetros tecnológicos de procesos en fábricas de azúcar y sus derivados, producción y alimentación de animales de granja, manejo y utilización de suelos, influencias climáticas sobre el rendimiento de cultivos, etc.

A otros sectores de la economía, como el minero, también se ha extendido su uso generosamente. Proyectos vinculados a la industria niquelífera de la región oriental del país han logrado modelar complicados procesos químico-industriales con el fin de optimizar algunos de sus parámetros de operación, recuperar materiales de desecho, realizar balances de masa y otras operaciones químicas, etc. (Cruz, Ramírez, Martínez, Guerrero, & González, 2006), (Cruz, Gonzáles, Domínguez, & Fernández, 2007), (Rodríguez, Pedrera, Soto, & Martínez, 2015)

Asimismo, otros sectores de la sociedad como la salud, la educación, la ingeniería y las telecomunicaciones también han sido beneficiados con el uso de la simulación ya sea como herramienta para la toma de decisiones, como método de entrenamiento a profesionales o como un medio para la aplicación de un conocimiento previamente adquirido. (Madera, Miranda, Suárez, & Lezcano,

1998), (Cañizares & Ferry, 2014), (López & Argones, 2015), (Pérez, Carbonell, Sorí, & Padrón, 2015).

1.3.2 Características y generalidades

La simulación de un sistema puede realizarse ya sea de forma manual o computacional de acuerdo a la complejidad de las relaciones de sus componentes. Si las relaciones que componen el modelo del sistema son lo suficientemente sencillas, es posible utilizar métodos matemáticos como álgebra, cálculo, o teoría probabilística para obtener la información exacta de la problemática en cuestión; esto es lo comúnmente llamado una solución analítica. Sin embargo, los sistemas reales son demasiado complejos como para permitir modelos realistas que puedan ser evaluados analíticamente, por lo que deben ser estudiados a través de la simulación en la que se utiliza la computadora para evaluar el modelo numéricamente, y los datos son compilados para estimar las características verdaderamente deseadas del modelo. (Law & Kelton, 2000)

En teoría de simulación, se entiende como sistema a las diferentes operaciones o procesos que se realizan en la vida real y que son objeto de interés para realizar su simulación. Para que el sistema pueda ser estudiado satisfactoriamente, por lo general se efectúan suposiciones sobre su comportamiento, las cuales llegan a tomar forma matemática o lógica y constituir un modelo que es utilizado para poder comprenderlo con mayor facilidad. Según Munain & Saiegg (2005) un modelo de simulación se puede identificar como perteneciente a la combinación o a una de las siguientes tipificaciones:

a) Según su representación

- Matemáticos o simbólicos: Representan un sistema en forma abstracta, en términos de relaciones cuantitativas (fórmulas) y lógicas.
- Físicos o icónicos: Representan un sistema en cuanto a su apariencia y funciones. Con frecuencia son versiones a escala reducida del mismo o representaciones análogas.

b) Según la existencia de incertidumbre

- Determinísticos: Representan sistemas de los cuales se tiene total certeza de lo que sucederá. Las variables no controlables en este modelo se conocen y no pueden tener variaciones.
- Estocástico o Probabilísticos: Representan sistemas donde los hechos suceden aleatoriamente y al menos una variable no controlable es incierta y puede variar. No se puede asegurar cuáles acciones ocurren en un determinado instante, sólo se conoce la probabilidad de ocurrencia y su distribución probabilística.

c) Según la importancia del tiempo

- Estáticos: El tiempo no es un factor importante. El comportamiento del sistema no varía significativamente con el tiempo.
- Dinámicos: El tiempo es un factor importante. El comportamiento del sistema se modifica a través del tiempo.

d) Según la naturaleza de los eventos (Dinámicos)

- Continuos: Representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales, es decir, las variables de estado cambian en forma continua respecto al tiempo.
- Discretos: Representan sistemas cuyos cambios de estado son esporádicos, es decir, las variables de estado cambian sólo en algunos instantes de tiempo.

Es importante aclarar que, debido a que un modelo es una simplificación o abstracción de un sistema real, no es necesario, salvo en los aspectos relevantes, que el modelo guarde una total correspondencia con el sistema real. Entonces, habrá casos en que será conveniente utilizar un modelo discreto para modelar un sistema continuo o utilizar un modelo estocástico para modelar un sistema determinístico y así, todas las combinaciones posibles. (Himmelblau & Bischoff, 1973)

Actualmente el uso de la simulación permite proporcionar una percepción clara a ciertos problemas de toma de decisiones donde la evaluación matemática de un modelo no es posible. En general los modelos de simulación difieren de los modelos matemáticos en dos aspectos fundamentales: los modelos de simulación normalmente no se diseñan para encontrar soluciones óptimas o mejores, como se hace en la programación lineal, sino se evalúan diversas alternativas

propuestas y se toma una decisión con base en la comparación de resultados; por otro lado, a diferencia de los modelos matemáticos, los modelos de simulación pueden representar al sistema como un todo y no en forma parcial por lo que todas las relaciones de causa y efecto entre los diferentes componentes del modelo son consideradas en todos los experimentos del sistema.

Los recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho de la simulación una de las herramientas más ampliamente usadas en la investigación de operaciones y ciencias administrativas (Law & Kelton, 2000), dadas las amplias ventajas que ofrece en casi todas las áreas posibles al permitir observar sistemas reales en operación si necesidad de detenerlos para poder analizarlos.

De acuerdo con Himmelblau & Bischoff (1973) la simulación de procesos constituye un elemento muy importante para la toma de decisiones más científicas y responsables si se considera que entre sus prerrogativas se encuentra la posibilidad de estudiar procesos más rápida, económica y completamente que en una planta o sistema real; se pueden ensayar intervalos extremos de las condiciones de operación, que pueden ser impracticables o imposibles de realizar en una planta real y determinar la compatibilidad de nuevas modificaciones y, además reproducir sus resultados. A partir de su utilización es posible comparar distintos diseños y procesos que todavía no están en operación, ensayar hipótesis sobre sistemas o procesos antes de llevarlos a la práctica y realizar ensayos de sensibilidad de parámetros de costes y básicos del sistema; además, permite examinar la estabilidad de los sistemas frente a diferentes perturbaciones.

Aparejado a las ventajas que ofrece la simulación, autores como (Azarang & García, 1996), (Chung, 2004), (Law & Kelton, 2000) y (Tarifa, 2001) han referido la existencia de desventajas asociadas a su uso tales como su incapacidad de obtener resultados precisos con datos de entrada inexactos, la imposibilidad de proveer respuestas fáciles para problemas complicados, el elevado costo en tiempo y efectivo para el desarrollo y validación del modelo, la imposibilidad de conocer a ciencia cierta el grado de precisión de los resultados y la falsa sensación de seguridad que puede causar la solución del modelo. Otras

desventajas asociadas se refieren a la brecha existente entre los creadores del modelo y sus usuarios finales⁴ dada la incomprensión de la simbología de los modelos (generalmente matemática) o sus reglas de utilización (Drew, 1995), por lo que generalmente se debe recurrir a especialistas en el área informática para la construcción de los programas de simulación.

A pesar de estos inconvenientes, la utilidad del uso de la simulación en el ámbito empresarial actual es innegable. Según la literatura especializada, se ha encontrado que el uso de modelos gráficos para la simulación de procesos de negocios empieza a ser más utilizada ya que arroja mejores resultados que los modelos matemáticos. Para la modelación de procesos de negocio se utilizan principalmente diagramas de flujo, que permiten visualizar y analizar mejor el proceso y realizar los cambios necesarios para la toma de decisiones. (Sitio de www.createlt.com/blog) Paralelamente, los avances obtenidos a lo largo de los años en el diseño de software, han permitido el desarrollo de numerosas herramientas capaces de soportar la construcción de modelos y la simulación basada en el análisis de sistemas, muchas de las cuales permiten al usuario construir modelos gráficamente, a fin de que no le sea preciso escribir las ecuaciones matemáticas o entender completamente los métodos numéricos por los cuales las ecuaciones son solucionadas durante la simulación. (Barnett, 2003)

1.4 Análisis de procedimientos para la simulación de procesos asistida por computadora

A lo largo de los años la manera de organizar proyectos de simulación ha sido globalmente constante, evolucionando en pequeños detalles conforme aumenta el número de autores interesados en el campo. (Schaffernicht, 2006)

El procedimiento propuesto por Himmelblau & Bischoff (1973) está diseñado para modelar sistemas complejos en el marco del análisis de procesos. Según el autor, luego de formular el problema y establecer las necesidades de operación, es necesario establecer una inspección preliminar y la posterior clasificación del proceso con el objetivo de descomponerlo en diferentes subsistemas; la

⁴ Las personas a quienes resulta de utilidad los resultados que se obtienen al correr programas elaborados sobre la base de los modelos que representaran la operación que se desea simular

integración de las relaciones existentes entre ellos puede simular el proceso inicial mediante el establecimiento de las ecuaciones matemáticas adecuadas.

La premisa de que el proceso global se puede descomponer en subsistemas diferentes y que existen relaciones entre ellos, permite modelar procesos complejos cuyas características dificultan su completo conocimiento y descripción; además al permitir la manipulación de los subsistemas es posible obtener una representación razonablemente correcta del proceso total basada en principios relativamente sencillos.

Para garantizar este carácter sistémico, Aracil (1995) concuerda en la necesidad de descomponer el sistema en las distintas partes que lo conforman y, mediante la utilización de diagramas como herramientas de apoyo para conformar el modelo del proceso, establece un nexo entre la estructura del sistema (su diagrama de influencias o causal⁵) y su comportamiento (las magnitudes asociadas a él). El autor refiere brevemente la posibilidad del uso de la computadora para llevar a cabo esta tarea, pero no ahonda al respecto, limitándose solamente al análisis de cuestiones analítico-matemáticas.

A diferencia de lo anteriormente expuesto Banks, Carson, & Nelson (1996) proponen una metodología altamente fraccionada o dividida que incluye explícitamente la implementación del modelo en una computadora mediante la utilización de algún lenguaje de computación. Probablemente debido a su propia naturaleza seccionada, este procedimiento constituye una valiosa guía que permite seguir paso a paso la lógica del estudio a realizar. De la misma forma, los autores sugieren una celosa selección del lenguaje y posterior codificación del modelo, según su naturaleza, como guías contra posibles complicaciones. (De Tarifa, 2001)

Otros procedimientos desarrollados siguen una línea muy similar, por ejemplo, la metodología para un estudio de simulación a la que alude Barceló (1996) menciona tres pasos menos que los descritos por Banks, Carson, & Nelson (1996) pero que, a los efectos, se encuentran contenidos unos dentro de otros. La metodología propuesta por Azarang & García (1996) incluye una diferenciación

⁵ Representación de las relaciones e influencias de los elementos de un sistema

entre decisores⁶ y analistas al incorporar dentro de la definición del sistema que la opinión o descripción dada por los primeros debe ser avalada por los segundos (se habla en términos computacionales y estadísticos). Al apoyarse en los decisores para planificar el proyecto se le confiere, al modelo resultante, una base substancial que lo certifica para su posterior verificación y validación. Además, este procedimiento tiene en cuenta el carácter dinámico de los sistemas con respecto al tiempo, por lo que incluye las funciones de monitoreo y control como culminación del estudio con el objetivo de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación viable del sistema.

Con el desarrollo de la simulación como herramienta en el campo empresarial Giaglis, Paul, & Hlupic (1999) proponen un procedimiento que pretende integrar las metodologías de simulación con aspectos genéricos de diseño organizacional basándose en el principio de que "...las técnicas para construir modelos de simulación están, por naturaleza, orientadas a los procesos..."

Esta metodología consta de cuatro etapas fundamentales (inicio, simulación, experimentación, conclusión) desglosadas en tareas que integran los objetivos y alcance del diseño organizacional y los de la simulación. Al operar bajo este principio, se pretende que tanto decisores como analistas coincidan en una misma terminología de trabajo que facilite el intercambio de ideas entre ellos.

Por su parte, Sifuentes, Dávila, Toledo, Carbajal, & Uribe, (2000) exponen un procedimiento, compuesto por siete pasos, básico y muy general, ideado para principiantes y basado en la estrategia "Aprendizaje basado en problemas" y en la estrategia de resolución de problemas "Método heurístico de seis pasos de McMaster". Esta es una metodología enfocada hacia el aprendizaje, con un lenguaje sencillo, diseñada como guía para que estudiantes o principiantes puedan lograr simular sistemas reales mediante la utilización de diagramas y utilizando un simulador comercial. No se ahonda en etapas tradicionales como la selección del software y lenguaje a utilizar, el diseño de experimentos y su posterior implementación y la verificación y validación del modelo. Este

⁶ Personal encargado de la toma de decisiones sobre el sistema en base a los resultados obtenidos en el estudio de simulación

procedimiento opera bajo el supuesto de que el analista conoce el funcionamiento y principios por los que se rige el sistema a simular.

Algunos autores han desarrollado metodologías más abarcadoras y profundas. Por ejemplo, Chung (2004) propone un procedimiento integrado por siete pasos subdivididos en varias tareas. Esta metodología se presenta como un manual de modelos de simulación en la que se enfatiza, en cada paso, las posibles técnicas y herramientas a utilizar para lograr el éxito del estudio.

Para Chung, el proyecto de simulación se sustenta en tres parámetros fundamentales: costo, tiempo y desempeño técnico; representados como los lados de un triángulo equilátero, en el que la variación de uno puede indicar el mal funcionamiento de otro. Enfatiza en el aseguramiento de la planificación del proyecto de simulación mediante la orientación y selección adecuadas del problema a resolver, el despliegue adecuado de los objetivos, la asignación de tareas y responsabilidades a los miembros del equipo de trabajo y la selección cuidadosa del lenguaje de modelación, así como el desarrollo del modelo en el lenguaje señalado.

Otros autores combinan diferentes metodologías y métodos desarrollados anteriormente para obtener procedimientos basados en las fortalezas de otros. Schaffernicht (2006), por ejemplo, referencia a Forrester (1961) y Sterman (2000) para generar un procedimiento enfocado hacia los destinatarios del modelo. Mediante la oportunidad de intervenir con propuestas, revisiones y críticas, se opera bajo el supuesto de que: "(...) ellos son parte de un sistema que genera su problema, ellos deben comprender el modelo, ellos deberán aceptar sus consecuencias..." (Schaffernicht, 2006). Como parte de la última etapa del procedimiento el autor considera que la implementación no debe ser tomada a la ligera, pues constituye una prueba empírica para comprender las necesidades de mejora.

Asimismo, Moncho (2008) propone una metodología general y muy eficiente para modelar sistemas complejos basada en el procedimiento propuesto por Caselles (1993). Esta metodología contiene los métodos parciales e ideas de autores como Forrester (1961 y 1966), Checkland (1981), Morecroft (1982), Balci (1986),

Mathewson (1989), Zhang et al. (1990) y Caselles (1992 y 1993), conteniéndolos completamente dentro de un entorno informático. Este autor progresa hacia una metodología con un máximo de ayuda informática, capaz de abordar problemas tanto del tipo “soft” (con modelos mentales y discusión de equipos) como desde el punto de vista “hard” (con modelos matemáticos y computadoras). Se incluye además la posibilidad de realizar procedimientos de optimización sobre el modelo de simulación creado, y como última etapa, sugiere la utilización de herramientas de teoría de decisión para llevar a cabo la toma de decisiones.

Autores más recientes como Belda & Grande (2009) proponen una metodología que logra aprovechar las ventajas de la aplicación de los modelos de simulación en la planificación y gestión estratégica de las empresas. Este procedimiento está esbozado para empresas muy dinámicas, con tiempos de colas que se deben disipar óptimamente y procesos de reingeniería en constante uso. Esta metodología se compone de tres fases muy bien definidas (evaluación y diseño, medida de logros y mejora continua) compuestas por amplio conjunto de tareas que van desde la selección de responsables hasta la asignación de recursos para el estudio. Si bien esta metodología integra los pasos básicos de otros procedimientos anteriormente analizados, las autoras dedican toda una etapa a la gestión del aseguramiento de las condiciones para llevar a cabo el estudio de simulación antes de su inicio.

Otros autores en la literatura como Nance (1981), Law & Kelton (1991 y 2000), DoD Modeling & Simulation (2001), Law (2006), Delgado (2011) y Aalst, (2011) han hecho referencia a las etapas, fases o pasos necesarios para el desarrollo de la simulación computacional en cualquier sistema. Cada autor enfoca el problema de manera diferente, aunque la mayoría de ellos concuerda en la importancia de seguir una metodología deliberada para lograr simulaciones computacionales eficientes. Las etapas propuestas por estos autores no muestran discrepancia alguna entre sí, solo que algunos pasos integran en una etapa, dada por un autor, dos o más de los dados por otro. El anexo 2 muestra un resumen comparativo de los procedimientos mencionados en el que se aprecia el grado de coincidencia entre algunos de sus elementos.

Cada autor refiere que, aunque se muestre la metodología como un conjunto de pasos sucesivos este es un proceso iterativo en el que se debe comprobar que cada paso se ha ejecutado correctamente. Esta comprobación permite volver atrás y rehacer o modificar pasos anteriores y sus resultados, así como la corrección de errores, lo que hace de la validación de datos en cada paso una parte inherente de cada metodología.

Con el objetivo de realizar un análisis más profundo a los procedimientos expuestos se utiliza el software Minitab 16 como herramienta para realizar un análisis de conglomerados jerárquico por autores, a través del cual se conforma el Dendograma que se muestra en el anexo 3. Para desarrollar el análisis de Clúster se tuvieron en cuenta aquellos elementos señalados por la literatura como los necesarios para desarrollar adecuadamente la simulación computacional y que fueron expuestos en las metodologías analizadas con un grado de detalle tal que permitan, a quienes accedan a ellos, una comprensión del contenido lo suficientemente válida como para desarrollar satisfactoriamente un proyecto de simulación.

La similitud demostrada entre estas metodologías permite forzar el análisis del dendograma hacia solamente cuatro grupos de criterios. El primero de ellos se encuentra conformado por los procedimientos de Himmelblau & Bischoff (1973), Aracil (1995) y Schaffernicht (2006), en los que se trata de forma marcada el análisis del sistema y la explotación del modelo. Estos procedimientos poseen un importante peso de análisis matemático para el desarrollo de los modelos de simulación, lo que puede dificultar su utilización por personas poco capacitadas o ajenas a esta clase de conocimientos.

Por otro lado, autores como Azarang & García (1996), Giaglis, Paul, & Hlupic (1999) y Belda & Grande (2009) se distinguen a través del énfasis tributado a la necesidad de tomar acciones de monitoreo, control y mejora continua como elementos culminantes de los proyectos de simulación; sin embargo, la lealtad de estas metodologías hacia el uso de lenguajes de programación como formas para desarrollar la simulación limita su uso solamente hacia personas que posean estas competencias; asimismo elementos tan importantes como la validación del modelo

y la experimentación son tratados con poca profundidad y cierta ambigüedad. El tercero de los grupos está representado por Law & Kelton (1991), Banks, Carson, & Nelson (1996), Chung (2004) y Moncho (2008) en el que se congregan aquellos procedimientos que tienen un carácter más extenso y explicativo. El propio carácter de estas metodologías las hace, hasta cierto punto, poco prácticas pues su extensión y nivel de detalle puede resultar una complicación en caso de que el tiempo para la auto preparación del analista y del estudio de simulación, sea un elemento apremiante.

Por último, Barceló (1996), Sifuentes, Dávila, Toledo, Carbajal, & Uribe (2000), DoD Modeling & Simulation VV&A (2001) y Delgado & Mejía (2011) siguen, mediante sus procedimientos, una línea muy general, de argumentos exiguos y falta de técnicas que apoyen el trabajo del analista en la obtención de resultados.

Las debilidades encontradas en estas metodologías pueden ser cubiertas mediante el diseño de un nuevo procedimiento que además logre aprovechar las fortalezas encontradas. Para su desarrollo se propone la utilización de los elementos del ciclo de gestión (planificar, ejecutar, controlar y mejorar) como guía para la definición de sus pasos. Las analogías latentes entre las etapas de estas metodologías permiten que sea posible conformar nuevos pasos estructurados por uno o varios de ellos, lo que permitirá reducir significativamente la complejidad y extensión del procedimiento.

Capítulo 2. Diseño de un procedimiento para la simulación computacional de procesos productivos

Consecuentemente con el análisis efectuado en el marco teórico referencial de la investigación se propone, en este capítulo, el desarrollo de un procedimiento para la simulación computacional de procesos productivos que constituya un instrumento práctico y comprensible para el diagnóstico y mejora de procesos organizaciones.

2.1 Procedimiento para la simulación computacional de procesos

La concepción del procedimiento propuesto se sustenta en el análisis realizado a los pasos proyectados por los autores estudiados en el epígrafe 1.4 del capítulo 1 y asume la propuesta de Belda & Grande (2009) para la planificación del proyecto de simulación mediante la determinación de las condiciones propicias para desarrollar eficientemente el estudio. Para la implementación de la simulación se asimilan elementos positivos de las metodologías propuestas por Giaglis, Paul, & Hlupic (1999), Chung (2004), Munain & Saiegg (2005) y Moncho (2008). Los elementos relacionados con el control, toma de decisiones y propuestas de mejora se sustentan mediante los aportes de Azarang & García (1996) y Belda & Grande (2009).

Como elementos enriquecedores del procedimiento propuesto se combinan los elementos anteriormente señalados con algunos aspectos del análisis y evaluación de los procesos comprendidos en el Manual para el análisis, evaluación y reingeniería de procesos en la administración pública de la Subsecretaría Pública de la ciudad de Buenos Aires.

La metodología propuesta, a la vez que reconoce la utilidad de las estudiadas, inserta un conjunto de elementos que permiten sentar las bases del correcto desarrollo del estudio de simulación, y se sostiene casi completamente de la utilización de softwares capaces de modelar procesos mediante el apoyo de diagramas, lo que suministra una vía fácil y cómoda para modelar procesos. En tal sentido, el diseño del procedimiento propuesto tiene como objetivos:

- Ser de utilidad en el diagnóstico y mejora de procesos en pequeñas, medianas o grandes empresas.

- Facilitar el desarrollo de estudios de simulación en empresas que requieran la utilización de esta herramienta.
- Permitir a decisores empresariales llevar a cabo ellos mismos la simulación computacional o ser participantes activos en el proceso.
- Facilitar al analista la confección de modelos de simulación sin la necesidad de elaborar modelos lógico-matemáticos complejos y/o utilizar lenguajes de programación para realizar la simulación.

La metodología propuesta está compuesta por 3 etapas y 11 pasos, como se muestra en el anexo 4.

Etapas propuestas para el desarrollo de un estudio de simulación

Etapas propuestas para el desarrollo de un estudio de simulación

Etapas propuestas para el desarrollo de un estudio de simulación

Etapa 1: Preparación inicial

Objetivo: Sentar las bases para la correcta implementación del estudio

Paso 1: Caracterizar la organización

La identificación de los aspectos básicos de la organización y sus procesos permiten establecer un archivo histórico para futuras investigaciones en similares campos de estudio, dentro de la propia organización o en otras ajenas.

La caracterización de la empresa ha de ser breve y contar con elementos básicos identificativos como la misión, visión, objeto social, estructura organizativa, identificación de los procesos existentes y sus interacciones, caracterización de sus procesos, entradas, transformaciones y salidas. Este análisis preliminar busca determinar la situación actual de la empresa en función de la salud de sus procesos y puede proporcionar los antecedentes para la definición del problema.

Técnicas: Revisión documental, consultas a expertos, etc.

Paso 2. Definir problema y objetivos del estudio

La importancia de dirigir una adecuada atención hacia el proceso de la formulación del problema no puede ser subestimada. Un problema mal formulado puede generar que todo el proyecto se lleve a cabo de forma desorganizada y descentralizada, lo que se traduce en gastos de efectivo, tiempo y recursos al centrarse en cuestiones que pueden no ser de prioridad para el estudio en curso.

El problema a formular debe poseer un lenguaje claro y entendible y proveer, tanto al analista como a personas ajenas al estudio, una clara percepción de la situación

existente. En breves palabras, la línea central del problema a formular constituye la respuesta a una pregunta: ¿Qué problema debo resolver?

Por otro lado, los objetivos del proyecto deben proporcionar de forma clara y precisa la intención que sigue el estudio, lo cual determina, además, su alcance. Para una correcta formulación de los mismos el analista se debe preguntar con qué propósito se lleva a cabo el estudio y hasta dónde desea o puede llegar mediante el mismo. Entre los ejemplos más utilizados se encuentran el análisis del funcionamiento de un proceso, en el que se evalúa si el proceso actúa de forma correcta bajo un determinado conjunto de circunstancias y se analiza la capacidad del proceso (para determinar cuál es el máximo de capacidad de procesamiento); determinar si el proceso es capaz de hacer frente a requerimientos específicos o realizar análisis de sensibilidad sobre las variables de decisión esenciales.

Por otro lado, existen estudios destinados a comprobar la efectividad de varias alternativas de mejora de un proceso o soluciones a una problemática determinada. En los casos en que este tipo de análisis involucre la necesidad de crear varios modelos de un mismo sistema el analista debe realizar tantos modelos como alternativas de mejora o solución desea analizar. (Sánchez, Ríos, & Malo, 2014) Es común que los objetivos que se plantean en primera instancia sufran modificaciones posteriores a medida que se avanza en la realización del proyecto; sin embargo el analista debe tener claramente definido el fin que persigue y las metas que, de forma general, desea alcanzar.

Técnicas: *Brainstorming*, Delphi, grupos nominales, gráfica de Pareto, diagrama causa efecto, consulta a expertos, etc.

Paso 3. Asegurar la implicación y compromiso de la gerencia

Todo proyecto o estudio requiere el conocimiento, aprobación y compromiso de la gerencia con el objetivo de garantizar que el proyecto a realizar se lleve a cabo con la efectividad necesaria. Por regla general, la mayoría de los estudios o investigaciones relativos a procesos organizacionales necesitan de información que solamente puede ser brindada por la administración de la empresa, pues en muchos casos se requiere información confidencial, predicciones económicas de cambios o mejoras propuestas, orientación referente a algunos aspectos, etc. En

tal sentido, es de suma importancia que se establezcan los mecanismos necesarios para garantizar la correcta realización de este paso.

Paso 4. Crear el grupo de trabajo

La capacidad del trabajo en equipo constituye una fortaleza en cualquier ámbito de estudio o investigación. La creación de un equipo de apoyo conformado por elementos integrados al proceso a estudiar facilita el desarrollo del estudio, la aplicación de técnicas y la validación constante de la información que se manipula. El grupo de trabajo debe contar con representación de la alta dirección como un elemento clave de la gestión de los cambios propuestos y se requiere la implicación de los responsables del proceso⁷, así como de trabajadores de experiencia como elementos entendidos en las reglas de funcionamiento del mismo. Dada la riqueza existente en los procesos del mundo real, el número de participantes en el grupo puede variar en dependencia de la complejidad del sistema a evaluar y el nivel de preparación que posean los analistas seleccionados. Durante el desarrollo de este paso es importante determinar el líder del equipo y asignar las responsabilidades de cada miembro.

El equipo de apoyo puede constituir, en muchas ocasiones, la base sobre la que se fundamenten los conocimientos del analista sobre el funcionamiento del proceso. El nivel de complejidad del sistema objeto de estudio, proporciona el nivel de preparación que debe recibir el analista para que sus conocimientos sean efectivos a la hora de analizar el sistema, por lo que en este punto, se recomienda la cooperación de los expertos para profundizar en la comprensión del sistema a analizar. A pesar de que el analista puede haber tenido previo contacto con el sistema, se debe recalcar que constituye una necia decisión declinar la ayuda de los expertos en cuanto a la orientación que puedan brindar.

A consideración del analista y el grupo de trabajo se puede realizar la debida planificación de las actividades de orientación y los respectivos mecanismos para llevarlas a cabo. Esta fase puede verse enriquecida con el uso de técnicas como los diagramas de Gantt para gestionar la planificación de los períodos para las actividades de orientación o el uso de paquetes de software de administración de

⁷ Funcionario que tiene la responsabilidad principal por el éxito o fracaso del proceso

proyectos como Microsoft Project-Engineering, Microsoft Project Planner, Primavera Project Planner, GanttProject, entre otros.

Técnicas: Observación, revisión documental, consultas a expertos, entrevistas, cuestionarios y otras similares

Paso 5. Analizar y describir el proceso

Tomando como base la problemática definida inicialmente y la orientación recibida se ha de realizar el análisis y descripción del proceso de interés para profundizar en sus particularidades; para ello se propone seguir la línea planteada por Halliburton (2006) para el análisis y descripción de procesos, según la cual, para llevar a cabo este punto satisfactoriamente, se deben seguir las tareas siguientes.

Tarea 1. Determinar responsable(s) y objetivos del proceso

Primeramente, se debe identificar el proceso con un nombre que permita su diferenciación y, posteriormente, señalar su propietario o responsable como pieza clave para su descripción, análisis y, particularmente, para acreditar las posibilidades de cambios y mejoras en el proceso.

En este punto es necesaria, también una descripción de lo que se quiere lograr con la actividad del proceso para cumplir con los objetivos fijados por el organismo y lograr la satisfacción del ciudadano. Es importante que el analista reconozca que, si desea evaluar y mejorar el funcionamiento de cualquier proceso, debe conocer con qué propósito opera, de tal forma que pueda incidir directamente sobre los aspectos que aportan valor al funcionamiento del mismo.

Técnicas: Revisión documental, *brainstorming*, consulta a expertos, etc.

Tarea 2. Descripción verbal del proceso

La descripción verbal del proceso es la forma natural en la que se describen todas las etapas, actividades, entradas, transformaciones y salidas del mismo. Durante esta descripción el analista caracteriza el funcionamiento y estado actual del proceso, sus indicadores, puntos claves y factores críticos. Este tipo de análisis permite determinar los puntos del proceso donde los resultados favorables son necesarios indefectiblemente para el exitoso cumplimiento de su objetivo y conocer el momento y lugar donde se toman las decisiones que afectan a todo el proceso en su conjunto.

Durante esta fase, y a conveniencia del analista, se pueden utilizar diferentes diagramas y gráficos del proceso como apoyo visual de la estructura y funcionamiento general del proceso.

Técnicas: Revisión documental, consulta a expertos

Paso 6. Evaluar y seleccionar la tecnología de simulación

Para la construcción de un modelo de simulación y conducir experimentos con el mismo se necesita la utilización de una de dos clases típicas de herramientas de simulación: el lenguaje de simulación o el paquete de simulación. La principal ventaja de los lenguajes de simulación es que casi cualquier situación puede ser modelada; la desventaja es que se ha de enmarcar completamente en un lenguaje de programación, lo que provoca grandes consumos de tiempo y requiere mayor nivel de preparación en el área. Por otro lado, los paquetes de simulación son herramientas integradas con bloques de construcción dentro de cierta área de aplicación, lo que permite la rápida creación de modelos de simulación, en su mayor parte gráficos; sin embargo, presenta como principal desventaja que, como el modelo debe concebirse dentro de cierta área tan pronto como uno los límites se viola el modelado se vuelve dificultoso o aun imposible de desarrollar. (Aalst, 2011)

El estado actual de la tecnología y el carácter de la simulación como área en la que interactúan diversas profesiones, han provocado una tendencia hacia la utilización de software de paquetes visuales, que integran varias herramientas, brindan facilidades a los usuarios no especializados en el área de la informática, permiten la construcción de modelos en forma gráfica, no requieren de la programación (al menos para modelos sencillos) y recolectan estadísticas en forma automática.

La selección del software para realizar la simulación es una de las decisiones más importantes que el analista debe tomar para desarrollar satisfactoriamente el estudio. Una selección incorrecta puede extender considerablemente el tiempo de ejecución del proyecto, producir estudios incompletos o hacer fracasar el proyecto. Para realizar una correcta elección del software el analista debe considerar aspectos como (Munain & Saiegg, 2005):

- La flexibilidad de modelado: que el software incorpore características básicas para la construcción de modelos, permitiendo la diferenciación de un modelo a otro.
- Facilidad en el desarrollo de modelos: Que el software tenga herramientas de verificación y *debugging* (depuración de errores) que permitan exactitud y velocidad en el proceso de modelado, para lograr un rápido desarrollo.
- Velocidad de ejecución: Esta característica cobra importancia cuando el modelo a simular es de gran tamaño y el tiempo puede llegar a ser significativo.
- Tamaño del modelo: Se debe considerar qué tamaño de modelo se desarrollará en el software, para elegir aquel que pueda soportarlo.
- Programación: El software debe representar el problema con el nivel deseado de detalle y complejidad, por lo que debe permitir que el usuario programe este nivel de detalle si lo desea.
- Portabilidad: Esta característica permite que el software sea ejecutado en varias clases de computadoras sin cambios.
- Características de uso: Que el software sea fácil de entender y usar por personas no especialistas en el tema.
- Capacidad de manejar simulaciones para modelos de sistemas discretos, continuos o una combinación de ambos, según las necesidades.
- Costo accesible: El analista debe tener en cuenta los recursos financieros con los que cuenta para adquirir el programa; algunos de estos pueden ser muy caros, mientras otros pueden ser adquiridos a un costo considerable.

Finalmente, la selección del software apropiado será la decisión del analista, quien puede trasponer razones muy propias para utilizar determinado programa, como el nivel de conocimiento y dominio del mismo. El anexo 5 muestra un resumen de algunos de los paquetes de software más utilizados y algunas de sus características.

Por último, aun cuando la selección del software se realice a conveniencia del dominio sobre determinado programa, se recomienda la adecuada utilización de

los manuales del software para lograr alcanzar un nivel de instrucción tal que propicie el correcto desempeño del estudio.

Etapas 2. Modelado y experimentación

Objetivo: Obtener, del modelo de simulación, resultados análogos a los del sistema real

Paso 7. Analizar el sistema

Un sistema es la porción de la realidad que es el foco primario de un estudio; está compuesto por elementos que interactúan unos con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera identificada para el propósito del estudio y puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales. (Tarifa, 2001) Para desarrollar satisfactoriamente el estudio, el sistema a simular debe estar perfectamente definido.

Tarea 1. Definir el sistema y objetivos del modelo

De forma general, un proceso posee cierto número de subprocesos que tributan al logro de sus resultados finales a través del cumplimiento de objetivos parciales o subobjetivos. La existencia de procesos altamente complejos en el mundo real puede implicar la necesidad de fraccionarlos a fin de facilitar el análisis y estudio de un sistema específico. Es de total elección por parte del analista las formas que se escojan para seleccionar el sistema; sin embargo siempre se debe actuar en consecuencia con la problemática existente y los objetivos propuestos, tanto del proyecto como del proceso, a manera de asegurar que se adopta como sistema de estudio el conjunto de los elementos que en realidad pesan sobre el funcionamiento actual del proceso.

De igual forma, es posible que el analista considere que no es necesaria la división de un proceso en partes para efectuar su análisis o que la situación existente en la organización imponga el estudio de determinado sistema, sin llegar a ser necesaria la aplicación de técnicas para su selección⁸; en cualquiera de ambos casos el analista debe establecer claramente los límites del sistema a estudiar.

⁸ Halliburton, E. (2006). Manual para el análisis, evaluación y reingeniería de procesos en la Administración Pública, p. 86

Una vez que se ha delimitado el sistema objeto de estudio se puede iniciar el proceso de confección del modelo para lo que, primeramente, es necesario declarar su propósito o razón de ser. El propósito u objetivo del modelo debe obedecer tanto a la problemática definida como a los resultados que se desean alcanzar, pues no todos los elementos que pueden ser modelados y descritos en un sistema son relevantes ante los propósitos del estudio (por ejemplo, un modelo para la gestión de aprovisionamiento de una empresa no necesita la descripción de cada producto individual). Entre los propósitos que se persiguen al efectuar un modelo de simulación se pueden encontrar la comprensión, la evaluación, la comparación, la predicción, la mejora, entre otros.

La declaración de los objetivos del modelo no tiene por qué ser, necesariamente, un asunto formal; es suficiente con que el analista declare cómodamente lo que quiere lograr con el modelo a construir. Durante el desarrollo de este punto el analista debe declarar los indicadores de desempeño del sistema que no son más que aquellas variables o elementos que se desean estudiar y que son concluyentes para la toma de decisiones.

Técnicas: Consultas a expertos, Delphi, Kendall, etc.

Tarea 2. Modelado del sistema

Para facilitar la comprensión y posterior modelización del proceso se puede realizar una descripción verbal de cada una de las entidades que lo conforman. A consideración del analista, la descripción del sistema puede ser tan explícita como sea posible con el fin de facilitar el entendimiento de cada elemento que influye en la obtención de las salidas; sin embargo, se ha de tener en cuenta que los objetivos planteados en la tarea anterior ya han definido el alcance que debe cubrir el modelo. En tal sentido el analista se puede enfocar simplemente en los aspectos que verdaderamente influyen o intervienen en el problema y objetivos planteados.

De acuerdo a los objetivos del modelo se pueden referir elementos tales como los diferentes parámetros existentes en el proceso (tiempo, temperatura, cantidad, etc.), las acciones que se llevan a cabo, los puntos de decisión y sus respectivos criterios de aceptación o rechazo, capacidad de instalaciones o equipos, nivel y

frecuencia (de intervención humana durante las etapas, de llenado de un equipo, etc.); se busca, en fin, obtener la descripción de los elementos que el sistema va a incluir para la simulación. Esta descripción poco rigurosa de las entidades o componentes el sistema permite, por un lado, la representación gráfica del mismo mediante el apoyo de alguna de las técnicas existentes para la modelación de procesos, y por el otro, la definición de las variables más relevantes para la simulación.

Actividad 1. Representación del sistema

El sistema de interés constituye un proceso que se puede descomponer en diferentes partes denominadas componentes o entidades y representarlas mediante la utilización de diagramas. Existen innumerables prácticas, metodologías y técnicas diseñadas para modelar procesos gráficamente, muchas de las cuales han sido adaptadas para al entorno computacional a manera de facilitar el proceso de modelado.

El software seleccionado para realizar la simulación debe incluir las herramientas necesarias para diagramar el sistema de interés; sin embargo, puede resultar más atractivo para algunas personas realizar, primeramente, un modelo conceptual o no formal en algún otro formato que no sea el ordenador. En tal caso el analista puede apoyarse en un sin número de herramientas existentes para ello. Entre las técnicas más populares para la modelación o representación de procesos se encuentra *Business Process Modeling Notation* (BPMN), los diagramas de flujos, las redes de Petri coloreadas, la técnica de flujo de trabajo y la cadena de procesos impulsada por eventos *Event-driven Process Chain* (EPC). Cada una de ellas constituye una eficaz herramienta para la modelación de procesos que, además, una vez elaborados los modelos, pueden ser llevados al ordenador mediante los programas informáticos correspondientes e importados al software para el desarrollo de la simulación.

Para llevar a cabo la computarización del modelo, se debe tener en cuenta que no sean violadas las reglas de operatividad del software escogido y se ha de prestar especial atención en compatibilizar la concepción del sistema

modelado por el analista con las posibilidades reales brindadas por el programa. Finalmente, de cualquier forma, que se obtenga el diagrama del sistema, se ha de tener el cuidado suficiente de modelar el nivel de detalle que exige el alcance de la simulación a realizar.

Técnicas: Revisión documental, *brinstorming*, consultas a expertos, etc.

Actividad 2. Identificación y selección de las variables

Las entidades poseen propiedades denominadas atributos o variables que no son más que datos cuyo valor puede cambiar mientras se está ejecutando la simulación (Munain & Saiegg, 2005). Dado el amplio número de variables que afectan a los procesos del mundo real, puede suponer un arduo trabajo para el analista realizar una primera discriminación eficiente entre ellas. Se recomienda, por tanto (y teniendo en cuenta la complejidad del sistema), realizar un listado preliminar de aquellos elementos que, a juicio de los expertos constituyen los más relevantes o influyentes en el proceso, para luego realizar una selección definitiva de acuerdo con los objetivos planteados y los resultados deseados.

Las variables que conforman un modelo pueden ser:

- Variables de entrada: Son fijadas por el medioambiente del sistema.
- Variables de salida: Son las variables cuyos valores solución se intentan encontrar a partir del modelo. Salidas de la simulación.
- Variables de estado: Conforman el conjunto mínimo de variables internas del sistema necesarias para describir completamente su estado interno.
- Los parámetros: Son variables constantes a las que se le da un valor para una aplicación específica y que se fija durante el diseño del sistema ya sea por el analista o por la propia naturaleza, por ejemplo: la aceleración de la gravedad.

Otros componentes del modelo pueden ser:

- Restricciones: Limitaciones impuestas a los valores de las variables o a los recursos. Estas restricciones pueden ser impuestas por el propio sistema o por el diseñador del modelo.

- Supuestos o hipótesis: Conjeturas realizadas sobre el sistema o algunas de sus variables para simplificar la complejidad del sistema real.

Algunos de estos elementos pueden ser obtenidos por simple observación directa (cantidad de usuarios que arriban a un local); otros, se obtienen mediante revisión documental o experiencia de trabajadores (temperatura normada, capacidad de un equipo, puntos de demora) y otros pueden requerir la utilización de instrumentos (tiempo que demoran los usuarios en el sistema) o fórmulas sencillas (volumen de un tanque; $V = h\pi r^2$) para determinarlos correctamente. La obtención de los datos se debe realizar mediante el diseño de experimentos de muestreo y el correspondiente procesamiento estadístico, siempre que los datos a obtener no estén previamente definidos o no existan referencias de su comportamiento.

Dado que modelar el mundo real es en extremo complejo, es conveniente iniciar este proceso con las características más sobresalientes y, progresivamente, ir incorporando los restantes detalles. No se debe perder de vista que el modelo debe contener el nivel de detalle requerido por los objetivos del estudio pues incluir aspectos que no contribuyan significativamente al logro de los propósitos trazados, solo logrará entorpecer el correcto desarrollo del estudio.

Por otro lado, puede suceder que una vez construido el modelo queden parámetros aún sin determinar o desconocidos. El ajuste de estos parámetros se puede esclarecer mediante métodos de prueba y error o mediante las opiniones de los expertos, que posteriormente se incorporan al modelo y se rectifican hasta que se produzcan los resultados adecuados. Finalmente, es importante presentar ante los expertos el modelo terminado, de tal forma que se certifique la adecuación, al menos teóricamente, del modelo construido.

Técnicas: Consulta a expertos, revisión documental, *brainstorming*, Delphi, etc.

Paso 8. Validar el modelo

Una vez que el modelo se encuentra completamente en un entorno informático, se puede llevar a cabo su validación que se puede dividir en dos partes: la verificación y la validación. La verificación es el proceso en el que se comprueba que el modelo opera de la forma en que se concibió; esto significa que el analista

ha incluido todos los componentes que fueron especificados durante la definición del sistema y que, por ende, el modelo está en condiciones de correr en el programa sin reportar errores. Durante el transcurso de la verificación el analista debe ser capaz de comprobar que el modelo arroja resultados conocidos o esperados cuando trabaja con los correspondientes datos conocidos. Con este test se pueden detectar errores en las relaciones funcionales introducidas por el analista a la hora de la traducción del modelo a la computadora o durante la confección del modelo.

Con propósitos de verificación se pueden llevar a cabo simulaciones paso a paso de porciones del sistema. Esta práctica refiere la segmentación del sistema y llevar a cabo simulaciones a cada una de sus partes e ir haciendo los ajustes necesarios hasta lograr el ajuste de todo el modelo. Por otro lado, se pueden realizar pruebas de stress al modelo en las que este se somete a condiciones extremas (por ejemplo, el arribo de más clientes de los que se pueden atender) mediante las cuales el analista puede predecir los resultados que se obtendrán (se esperaría que los tiempos de espera aumenten drásticamente). Otro método consiste en chequear que el modelo produce resultados similares para entradas que tengan efectos similares. Por ejemplo, un sistema con una tasa de llegada de 100 unidades por segundo debe producir una carga similar a dos sistemas con una tasa de llegada de 50 unidades por segundo.

Existen muchas más prácticas para la verificación de los modelos. Algunos programas de simulación vienen integrados con módulos específicos para este fin. El analista puede adoptar por uno o la combinación de varios para realizar este proceso.

Por otro lado, la validación es el proceso que permite comprobar que se construyó el modelo correcto; esto es, confirmar que el modelo construido es una representación factible de la realidad. Según Moncho (2008), el método clásico de validación es el de “predicción del pasado”, también llamado “simulación ex post”. Este método asume que la estructura y comportamiento del sistema no sufrirá cambios, por lo que “en el futuro el sistema actuará como en el pasado”. Consiste en suministrar al modelo datos históricos conociendo también los

correspondientes resultados históricos; los resultados obtenidos deben ser reproducidos por el modelo con un nivel de aproximación aceptable para el analista.

La intuición de los expertos es una de las formas más prácticas y comúnmente utilizadas para validar modelos. Requiere la consulta de expertos en el sistema para exponer y discutir los puntos claves del modelo (supuestos, entradas y salidas) y evaluar su comportamiento con respecto al del sistema real. El analista puede apoyarse en técnicas de expertos para llevar a cabo esta actividad y es recomendable validar los puntos por separado y a medida que se desarrolla el modelo. La verificación y validación del modelo por los métodos establecidos por el analista certifican que el modelo se encuentra apto para representar el sistema real de acuerdo a las especificaciones, supuestos y datos de entrada recolectados; conforme con los objetivos planteados al inicio del proyecto y capacitado para dar solución a la problemática definida.

Es válido aclarar que los primeros intentos para realizar la certificación del modelo pueden resultar fallidos. Esta situación puede darse por elementos como pobreza de los datos recopilados, modelado deficiente, suposiciones insuficientes, etc. en estos casos se debe reexaminar nuevamente la información y tratar de enriquecer estos elementos.

Paso 9. Experimentar

Una vez que el modelo ha sido certificado, tras la correcta verificación y validación, solamente queda experimentar con él. En esta etapa, en dependencia de los objetivos planteados, el analista puede recolectar las salidas del sistema que sean de su interés o ensayar diversas hipótesis⁹ *what if* o alternativas experimentales mediante el cambio de valores de variables y parámetros del modelo para analizar el comportamiento del sistema y/o el comportamiento de otras variables.

La experimentación con el modelo supone la realización de varias corridas del programa para luego determinar los valores promedio o los rangos en los que se han de mover las variables de interés. Para el cálculo del número de corridas óptima se debe seleccionar uno de los indicadores de desempeño o variables de

⁹ Chung, C. A. (2004). *Simulation Modeling. Handbook. A Practical Approach*, pp. 191-201

interés declarados anteriormente (la más trascendental a juicio del analista) y seguir la lógica de los pasos que se muestran en el anexo 6. Estos pasos se llevan a cabo para certificar estadísticamente los resultados de la simulación (Chung, 2004).

En dependencia de la complejidad del sistema analizado, un modelo puede tener varias decenas de variables y aun, cuando en la mayoría de los casos el software produce como resultados los valores de cada una de las variables de salida, visualizar la información de cada una de ellas puede ser, además de largo y enrevesado, innecesario pues normalmente solamente son de interés los valores de unas pocas variables, su evolución y su relación con otras variables.

En este sentido, la utilización de softwares facilita en gran medida la visualización y comprensión de los resultados obtenidos. Algunos softwares contienen módulos destinados a la confección de informes que permiten al usuario definir las variables que desea visualizar, si desea visualizarlas en forma de gráfico o tabla, qué intervalo de tiempo y con qué intervalo de valores, etc. de tal forma que se ofrecen diversas facilidades para que el analista seleccione las variables esenciales, las compile en una tabla o gráfico, muestre las relaciones entre ellas y obtenga, de forma concisa, los resultados de su análisis.

Etapa 3. Control y mejora

Objetivo: Tomar decisiones de mejora en función de los resultados alcanzados

Paso 10. Analizar resultados

Los resultados obtenidos ofrecen una percepción de aquellas alternativas que pueden ser superiores con respecto a otras, al menos dentro de ciertos parámetros; sin embargo, antes de realizar una discriminación o selección definitiva entre ellas (independientemente de si incluyen cambios estructurales al proceso) es conveniente analizar el componente económico de cada una. En algunos casos este análisis puede ser tan sencillo como la simple inclusión de uno o varios obreros o equipos (lo que equivale al relativo costo de la contratación de mano de obra o inversión en nuevo equipamiento) o tan complejo como el rediseño de todo un proceso, con los referidos costos y gastos asociados.

Finalmente, el nivel de profundidad que logre alcanzar el análisis económico depende de la capacidad que tenga el analista de traducir la información obtenida en una medida de efectivo que muestre a la gerencia de la empresa el comportamiento de cada situación simulada. En función de las necesidades o capacidad de la empresa, se han de tomar la(s) alternativas conveniente(s).

Paso 11. Mejora continua

En este paso se espera que se haya resuelto la problemática planteada inicialmente y que se hayan cumplido los objetivos propuestos al inicio del estudio. Durante el desarrollo de este paso se pueden confeccionar reportes a la dirección en los que se incluyan los resultados alcanzados durante la investigación, así como las proyecciones de algunas propuestas de mejoras para las deficiencias encontradas (en los casos correspondientes). Las facilidades que ofrece la simulación permiten la posibilidad de implementar virtualmente las mejoras propuestas y evaluarlas mediante un nuevo ciclo o estudio de simulación.

2.2 Validación prospectiva del procedimiento propuesto

Para realizar la validación del procedimiento diseñado se utiliza una modificación del Método de validación prospectiva de modelos académicos propuesta por Vega de la Cruz & Nieves Julbe (2015) que se basa en la validación de procedimientos mediante Redes de Petri y métodos de expertos. Las Redes de Petri (RP), son una clase de grafo dirigido y bipartito, conformado por dos tipos de nodos denominados lugares (P), representados por circunferencias, y transiciones (T), representadas por segmentos verticales los cuales se conectan mediante arcos o flechas. La RP del procedimiento diseñado se muestra en la figura 2.1 con su respectiva leyenda (tabla 2.1)

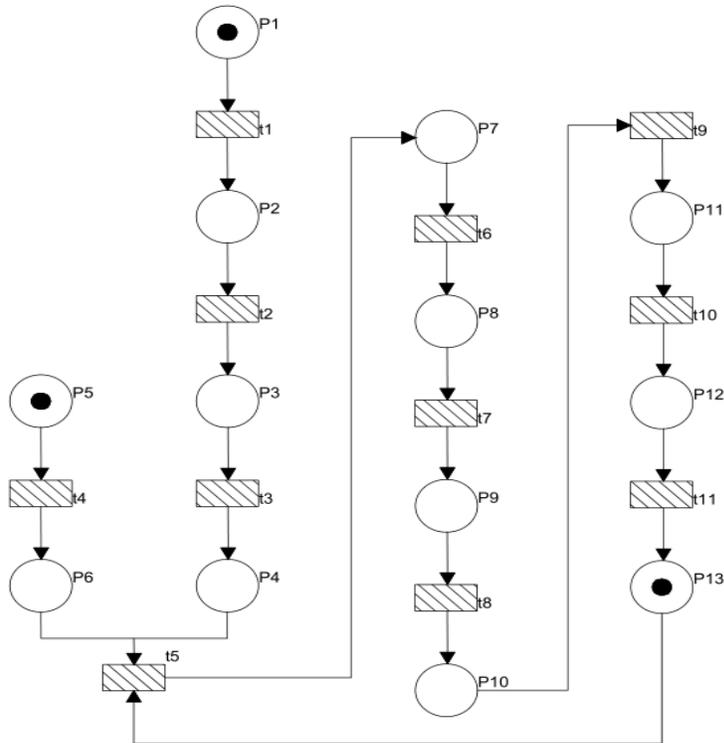


Fig. 1.2 Red de Petri para el procedimiento propuesto

Tabla 2.1 Leyenda de la Red de Petri del procedimiento propuesto

Lugares	Transiciones
P ₁ : Síntomas	T ₁ : Caracterizar la empresa
P ₂ : Caracterización de la empresa y problema	T ₂ : Determinar objetivos del estudio
P ₃ : Objetivos definidos	T ₃ : Asegurar el compromiso de la dirección
P ₄ : Dirección comprometida	T ₄ : Conformar el equipo de trabajo
P ₅ : Capacidades y habilidades para la conformación del grupo de trabajo	T ₅ : Analizar y describir el proceso
P ₆ : Equipo de trabajo	T ₆ : Seleccionar el software para simular
P ₇ : Características del proceso	T ₇ : Analizar y modelar
P ₈ : Software para simular	T ₈ : Verificar y validar el modelo
P ₉ : Modelo del sistema	T ₉ : Simular
P ₁₀ : Modelo validado	T ₁₀ : Analizar los resultados
P ₁₁ : Resultados de la simulación	T ₁₁ : Mejorar
P ₁₂ : Alternativas de solución	
P ₁₃ : Forma de producción	

Dada la complejidad de la red inicial se aplican las reglas de reducción para simplificar el grafo (figura 2.2; tabla 2.2) de forma tal que se facilite su análisis.

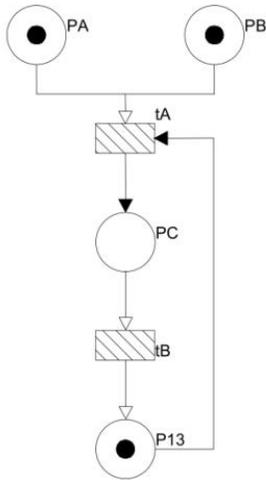


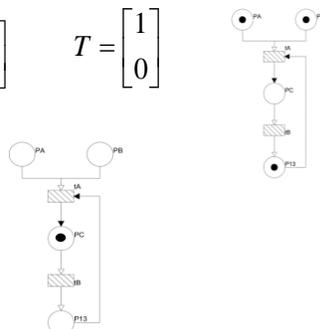
Figura 2.2 Red de Petri reducida

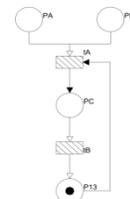
Tabla 2.2 Leyenda de la Red de Petri reducida

Sustituciones	Reales
P_A	P_1, P_2, P_3, P_4
P_B	P_5, P_6
P_C	$P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$
P_{13}	P_{13}
T_A	T_1, T_2, T_3, T_4, T_5
T_B	$T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{11}$

A partir del grafo simplificado se determina la matriz de incidencia, ecuación de estado y árbol de alcanzabilidad para lo que se procede al desarrollo del análisis siguiente.

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad M_{TxP} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$T * M_{TxT} + M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$


$$T * M_{p_i T} + M_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$


Teniendo en cuenta los resultados anteriores se confecciona el árbol de alcanzabilidad, que se muestra en la figura 2.3.

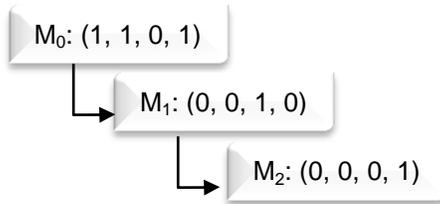


Fig. 2.3 Árbol de alcanzabilidad del procedimiento diseñado

Luego del análisis realizado se verifica el cumplimiento de las propiedades tanto dinámicas como estáticas de las redes de Petri (tomado de Vega de la Cruz (2014)) mostradas en la tabla 2.3. El cumplimiento de las propiedades permite el cálculo del coeficiente de validación, que según la fórmula tomada de Lao León & Vega de la Cruz (2015), obtuvo una puntuación de 0,86 (entra en el rango de válido), por lo que se comprueba la validez del procedimiento propuesto con respecto a su estructura y dinámica.

Tabla 2.3 Propiedades de la RP

Propiedades dinámicas o de comportamiento	
Alcanzabilidad: principal propiedad dinámica y consiste en que cada disparo de una transición habilitada modifica la distribución de los marcados dentro de la red, de acuerdo con las reglas de disparo.	Cada disparo modifica la distribución de los marcados en la red de acuerdo con las reglas de disparos. El marcado final M_{13} es alcanzable desde M_0 según la secuencia de los disparos.
Limitable o acotada: se dice que la RP está k-limitada si para todo marcado alcanzable se tiene que ningún lugar tiene un número de marcas mayor que k.	La red es acotada pues por cada disparo se obtiene una M cantidad de disparos menor o igual que la anterior. La RP reducida es segura pues el número de marcado es igual al peso de su arco de salida, por lo que es de razón igual a uno.
Vivacidad: se dice viva si para un marcado inicial existe una secuencia de franqueos para la cual se puede franquear esa transición. Si todas las transiciones de una red son vivas, la RP se llama viva y así la red nunca se bloquea.	Una vez alcanzado el estado final, las propias características del procedimiento pueden hacer necesaria una nueva secuencia de disparos. Se considera que la RP es viva, por lo que estará libre de bloqueos y no existirán

	problemas en su ejecución.
Reversibilidad y estado inicial: es reversible si para cualquier marcado alcanzable es posible volver al marcado inicial.	No es reversible pues una vez alcanzado el objetivo final no será necesario volver al estado inicial.
Cobertura: un marcado M dentro de una RP (N, M_0) en un conjunto de marcados cubiertos o contenido, si existe un marcado M' dentro de $R(N, M_0)$ tal que $M'(p) \geq M(p)$ para cada lugar p dentro de la red.	El árbol de alcanzabilidad coincide con el árbol de cobertura (por ser una red acotada) demostrando que se cumple con la propiedad.
Persistencia: es persistente si para cualquiera de dos transiciones habilitadas, el disparo de una transición no deshabilitará a la otra transición.	Es persistente pues a lo largo de la red el disparo de una transición no deshabilitará a otra pues son independientes una de la otra.
Distancia sincrónica: grado de dependencia mutua entre dos eventos en un sistema condición/evento.	En esta RP no es necesario “sincronizar” los resultados ya que no es un requerimiento del procedimiento; aquellas transiciones que pueden ser disparadas al mismo tiempo, no impedirán la alcanzabilidad de la red.
Propiedades estáticas o estructurales	
Conservabilidad: una RP es conservativa si existe un entero positivo $\gamma(p)$, para cada lugar p tal que la sumatoria de marcas sea constante para cada $M \in R(N, M_0)$.	La red es conservativa ya que siempre tendrá la misma cantidad de marcas a lo largo de toda la red.
Limitación o acotado estructural: es limitada estructuralmente si es restringida para cualquier conjunto finito de marcados iniciales M_0 .	La red es acotada estructuralmente pues existe un número finito de marcados iniciales.
Vivacidad estructural: es estructuralmente viva si tiene un marcado inicial para N .	La red es viva pues posee un marcado inicial.
Repetibilidad: es repetible si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos σ desde M_0 , tal que las transiciones se disparan infinitamente en la secuencia definida por σ .	La red es repetible pues las transiciones siempre podrán dispararse. Aunque no todos los lugares serán marcados las veces que se repita la secuencia de disparos, se considera que las propias características del procedimiento analizado no ameritan que todas las transiciones se disparen para lograr el objetivo final del procedimiento.
Controlabilidad: se dice que es completamente controlable si cualquier marcado es alcanzable desde cualquier otro marcado.	La red no es completamente controlable pues no todos los marcados pueden ser alcanzados desde cualquier otro marcado, ya que el rango de la matriz de incidencia es dos, diferente al número de lugares (cuatro).
Consistencia: es consistente si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos reversible σ desde M_0 hacia M_0 , tal que cada transición haya sido disparada al menos una vez en σ .	Es consistente pues aunque la red no es reversible desde el marcado inicial hasta el final, todos los lugares fueron marcados al menos una vez.

Tras la validación del procedimiento mediante redes de Petri se procede a realizar la validación mediante el método de expertos para lo que fueron seleccionados un

grupo de ellos mediante la aplicación de la encuesta mostrada en el anexo 7 y, posteriormente, fueron recopilados sus criterios mediante la aplicación de la encuesta mostrada en el anexo 8. Los resultados obtenidos (anexo 9) certifican que el coeficiente de validación alcanzado, según los expertos seleccionados, es de 3,76 (el valor de comparación es de 2,67), por lo que se puede concluir que el procedimiento propuesto es teóricamente válido.

Valoración económica y social

Al valorar el impacto de los resultados obtenidos se considera que el procedimiento propuesto permite que los propios decisores empresariales o los propietarios de un proceso lleven a cabo las actividades de diagnóstico, control y mejora de sus procesos, sin la necesidad de incurrir en costos de contratación de fuerza de trabajo externa para desarrollar el estudio de simulación. Por otro lado, la posibilidad de analizar los procesos sin la necesidad de incidir directamente sobre ellos, reduce hasta cierto punto los costos asociados a los cambios o mejoras propuestas y los gastos asociados a la toma de decisiones erróneas. Desde el punto de vista social puede permitir evaluar los procesos de una empresa e incidir en la mejora continua a partir de que se cuenta con un procedimiento para su diagnóstico; se favorece la toma de decisiones efectivas a todos los niveles, así como las correspondientes mejoras en el desempeño individual y organizacional. Finalmente, los resultados alcanzados pueden permitir elevar la eficiencia de los procesos y, de esta forma, contribuir al cumplimiento de los lineamientos de la política económica y social aprobados en el VI Congreso del PCC.

Conclusiones

Una vez finalizada la investigación se arribaron a las conclusiones siguientes:

1. El carácter general y poco práctico de la mayoría de las metodologías estudiadas, su lenguaje técnico poco usual en el ámbito empresarial, así como la escasez de procedimientos que faciliten la realización de proyectos de simulación computacional de procesos productivos fundamentan la necesidad de crear un procedimiento que permita llevar a cabo estos estudios de forma sencilla y práctica.
2. Se diseñó un procedimiento para la gestión de la simulación de procesos asistida por computadora, compuesto por tres etapas y once pasos, que constituyen una guía en el diagnóstico y mejora de procesos mediante el desarrollo de estos estudios.
3. La aplicación del método para la validación prospectiva de modelos académicos arrojó un diseño de las Redes de Petri que indica el cumplimiento de sus propiedades con un coeficiente de validación de 0,86 y, de acuerdo al método de expertos, un coeficiente de concordancia de 3,76 lo que certifica la validación prospectiva del procedimiento propuesto con respecto a su dinámica y estructura.
4. La ausencia de carga matemática y de la utilización de lenguajes de programación para modelar y simular procesos, así como los resultados obtenidos durante la validación prospectiva del procedimiento diseñado, constatan su factibilidad como una herramienta útil y de fácil utilización para el diagnóstico y mejora de procesos, lo que contribuye a la validación teórica de la hipótesis planteada.

Recomendaciones

1. Se recomienda continuar perfeccionando el procedimiento propuesto en aras de incorporar nuevas técnicas que faciliten su uso.
2. Publicar los resultados de la investigación en pos de socializar los resultados alcanzados y beneficiar a los diferentes usuarios que necesitan desarrollar estudios de simulación para procesos productivos.
3. Realizar la validación práctica del procedimiento propuesto.

Bibliografía

1. *Sitio web de: Lander Simulation & Training Solutions S.A.* (2014). Recuperado el 9 de Febrero de 2016, de <http://www.landertsimulation.com/formacion-con-simulacion/el-mundo-en-movimiento/historia-de-la-simulacion/index.php>
2. Aalst, W. M. (2011). Business Process Simulation Survival Guide. En *Handbook on business process management* (págs. 337-370). Heidelberg, Berlin: Springer.
3. Abia, R. G., & Sánchez, A. C. (2003). *¿Qué matemáticas necesita la empresa?* Universidad Rey Juan Carlos, Servicio de Publicaciones.
4. Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Isdefe.
5. Arosemena, C. T. (Abril de 2013). <http://formared.blogspot.com/>. Recuperado el 23 de Febrero de 2016, de <http://formared.blogspot.com/p/reflexiones-y-articulos-educativos.html>
6. Azarang, M., & García, E. (1996). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. Mexico: McGraw Hill.
7. Banks, J., Carson, J., & Nelson, B. (1996). *Discrete-Event System Simulation* (Segunda ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
8. Barceló, J. (1996). *Simulación de Ssistemas Discretos*. Madrid: Isdefe.
9. Barnett, M. W. (2003). *Modeling and simulation in business process management*. Gensym Corporation.
10. Belda, C. F., & Grande, E. U. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros multidisciplinares*, 11(32), 37-48.
11. Cañizares, D. Á., & Ferry, N. C. (2014). Predicción y simulación de las zonas de visibilidad de radar en 3D en el territorio de Cuba. *Revista Telem@tica*, 13(3), 75-85.
12. Capote, J. A., Abreu, O. V., Alvear, D., Herrera, G., Abad, M., & Gutiérrez, A. I. (2004). Los Modelos de Simulación Computacional de Incendios: Ciclo de Vida. *Revista Montajes e Instalaciones*(385), 121-124.

13. Caselles, A. (1993). Systems Decomposition and coupling. *Cybernetics and Systems: An International journal*.
14. Caselles, A. (1994). Improvements in the Systems Based Program Generator SIGEM. *Ciberneticas and Systems: An International journal*(25), págs. 81-103.
15. Chung, C. A. (2004). *Simulation Modeling. Handbook. A Practical Approach*. New York: CRC Press.
16. Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2011). Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2), 42-46.
17. Confederación Granadina de Empresarios. (s.f.). www.cge.es/portalcge. Recuperado el 7 de Marzo de 2016, de <http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4111benchmarking.aspx>
18. Cruz, A. S., Gonzáles, O. L., Domínguez, E. S., & Fernández, M. d. (2007). Análisis del comportamiento del parámetro nivel de licor, a través de la modelación matemática y simulación. *Ciencias Holguín*.
19. Cruz, A. S., Ramírez, E. L., Martínez, M. S., Guerrero, Y. F., & González, H. H. (2006). Modelación matemática y simulación del parámetro temperatura de trabajo en el proceso de precipitación de sulfuros a partir del licor de desecho WL. *Tecnología Química*, XXVI(2), 22-28.
20. Cruz, L. O. (2014). *Procedimiento para la modelación multicriterio de los recursos más representativos en los sistemas logísticos*. Tesis de grado, Universidad de Holguín, Holguín.
21. Cruz, L. V., & Julbe, A. F. (2015). Método de validación prospectiva de modelos académicos. *Enl@ce*, 12(3).
22. Davenport, T. H. (1993). Process Innovation. Reengineering work through information technology. *Harvard business School Press*.
23. Davenport, T. H., & Short, J. E. (1990). The new industrial ingeneering: information technology and business process redesign. *Sloan Management Review*.

24. De la Figal, J. G. (2011). Simulación de antorcha de plasma. *Revista Cubana de Ingeniería*, 1(3), 25-30.
25. Delgado, K., & Mejía, M. (2011). Aplicación de la simulación discreta para proponer mejoras en los procesos de atención en el área de emergencia de un hospital público. *Industrial Data*, 14(1), 47-54.
26. Días, R. S., Hurtado, R. V., Aladro, F. N., Pérez, A. P., Días, D. F., & Oramas, J. M. (1992). SIMFAD: Un sistema para la simulación de fábricas de azúcar y derivados. Parte II. La estructura computacional. , 26. *Cuba Azúcar*, 26(1).
27. Diehl, M., & Stroebe, W. (1987). Productivity Loss in Idea-Generating Groups: Tracking Down the Blocking Effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(3), págs. 392-403.
28. DoD Modeling & Simulation VV&A. (Agosto de 2001). A Practitioner's Perspective on Simulation. *Recommended Practices Guide Reference Document*.
29. Drew, D. R. (1995). *Dinámica de sistemas aplicada* (Primera ed.). Isdefe.
30. Forrester. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press.
31. García, C., & Martínez, R. (1996). El debate investigación cualitativa frente a la investigación cuantitativa. *Enfermería clínica*, 6(5), 213.
32. Giaglis, G., Paul, R. J., & Hlupic, V. (June de 1998). Simulation modeling of business processes. (A. D.-N. D., Ed.) *In Proceedings of the 3rd UK Academy of Information Systems Conference*, 311-320.
33. Giaglis, G., Paul, R., & Hlupic, V. (1999). Integrating simulation in organizational design studies. *International Journal of Information Management*, 19(3), págs. 219-236.
34. Giaglis, G., Paul, R., & Hlupic, V. (1999). Simulation of business processes. *American Behavioral Scientist*, 42(10), 1551-1576.
35. Gilioli, R. R. (1997). Gestao de Operações. A Engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. En *Cap 4: Gerenciamento por Processos*. Editora Edgard Blucher LTDA.

36. Gómez, I., Espinosa, R., & Fernández, J. (1989). *Grass evaluation under simulated rotational grazing in montmorillonitic cuban soil*. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Granma.
37. Gras, J. C. (Agosto de 2012). *horizontesbpm.blog.com*. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de <http://horizontesbpm.blog.com/?tag=mineria-de-proceso>
38. Grau, S. P. (s.f.). Recuperado el 17 de Febrero de 2016, de Monografías.com S.A: <http://www.monografias.com/trabajos82/disenoprocesos-productivos/disenoprocesos-productivos2.shtml#ixzz3zbiWCIm9>
39. Grau, S. P. (s.f.). *monografias.com*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos82/disenoprocesos-productivos/disenoprocesos-productivos.shtml>
40. Guasch, A., Pera, M., Casanovas, J., & Figueras, J. (2003). *Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña.
41. Halliburton, E. (2006). *Manual para el análisis, evaluación y reingeniería de procesos en la Administración Pública* (Tercera ed.). Buenos Aires, Argentina: Publicación de la Subsecretaría de la Gestión Pública y del Proyecto de Modernización del Estado BIRF 4423-AR.
42. Harrell, C., & Tumay, K. (1995). *Simulation Made Easy. A Manager's Guide*. Industrial Engineering and Management Press.
43. Harrington, H., & Tumay, K. (1999). *Simulation modeling models*. New York, USA: McGraw Hill.
44. Hayes, R., Hayes, S., & Wheelwright, S. (1984). *Restoring our Competitive Edge: competing through manufacturing*. NY: John Wiley and Sons.
45. Heizer, J., & Render, B. (1997). *Dirección de la Producción. Decisiones Estratégicas*. Madrid: Prentice Hall Iberia.
46. Herbert, M., & Giuliano, G. (1972). *Simulation of Discrete Stochastic Systems*. Science Research Associates Inc.
47. Hernandez, C. H. (2009). *La Evaluación cualitativa y cuantitativa*. Armenia, Colombia: Disponible en <http://wlwchhh.blogspot.com/2009/04/la-evaluacion-cuantitativa-y.html>.

48. Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de cultivos: Características y usos. *Scielo*, 30(1).
49. Herrero, P. (s.f.). *www.sage.es*. Recuperado el 13 de Febrero de 2016, de *blog.sage.es*: http://blog.sage.es/economia-empresa/la-importancia-de-medir-los-procesos-para-una-gestion-eficiente/?_ga=1.63911788.255825878.1454971032
50. Himmelblau, D. M., & Bischoff, K. B. (1973). *Análisis y Simulación de Procesos*. SA Editorial Reverté.
51. Juran, J., & Gryna Fronk, M. (1993). *Manual de control de la calidad* (Cuarta ed., Vol. 2). Mc Graw Hill.
52. Law, A. (2006). *Simulation Modeling & Analysis with expertfit software* (Cuarta ed.). Mc Graw Hill International.
53. Law, A. M., & Kelton, D. (1991). *Simulation Modeling & Analysis* (Segunda ed.). New York: McGraw Hill.
54. Law, A. M., & Kelton, D. (2000). *Simulation Modeling & Analysis* (Tercera ed.). Tucson, Arizona: McGraw Hill.
55. Law, A. M., & Kelton, D. (2000). *Simulation Modeling & Analysis* (Tercera ed.). Tucson, Arizona: McGraw Hill.
56. León, A. M., Rivera, D. N., Nariño, A. H., & Viteri, J. (2012). Relevancia de la gestión por procesos en la palinificación estratégica y la mejora continua. *Eidos*(2).
57. León, Y. O., & Cruz, L. O. (2015). Una herramienta eficaz para la validación de procedimientos.
58. López, I. H., & Argones, L. F. (2015). Simulación quirúrgica mediante realidad virtual en Cuba. *Revista Cubana de Oftalmología*, 28(4), 0-0.
59. Lorena, T. (2005). *www.rincondelvago.com*. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de http://apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/economia_empresa/
60. Lorino, P. (1993). *El control de gestión estratégico: La gestión por actividades*. Barcelona: Editores Boixareu Marcombo, S.A.

61. Madera, E. P., Miranda, L. Á., Suárez, A. R., & Lezcano, M. A. (1998). Las simulaciones computarizadas en la enseñanza de enfermería. *Revista Cubana de Enfermería*, 15(2), 112-116.
62. Mateo, R. (Abril de 2010). *wordpress.com*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de <https://raquelmateo.wordpress.com/category/direccion-de-la-produccion/>
63. Medeiros, D. A. (30 de Junio de 2008). Minería de procesos. Más allá de la minería de procesos. (R. S. P., Entrevistador) Santiago.
64. Medina, A., Nogueira, D., Hernández, A., & Viteri, J. (Febrero de 2010). Relevancia de la Gestión por Procesos en la planificación estratégica y la mejora continua. *Revista Eídos*(2).
65. Moncho, A. C. (2008). Modelización y simulación de sistemas complejos. (Edición Digital). Entre Ríos, Argentina.
66. Munain, C. V., & Saiegg, C. A. (2005). *Uso de la Simulación como estrategia de mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las universidades. Una aplicación para la carrera de informática*. Tesina, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería, Trelew.
67. Nance, R. (1981). *Model Representation in Discrete Event Simulation: the Conical Methodology*. Virginia Tech, Dept. of Computer Science.
68. Nogueira, D., Medina, A., & Nogueira, C. (2003). *Fundamentos para el control de la Gestión Empresarial*. La Habana, La Habana, Cuba: Editorial Pueblo Educación.
69. Nogueira, D., Medina, A., & Nogueira, C. (2003). *Fundamentos para el control de la Gestión Empresarial*. La Habana, La Habana, Cuba: Editorial Pueblo Educación.
70. Pall, G. A. (1987). *Quality process management*. Englewood Cliffs, New Jersey: Printice Hall.
71. Pérez, B. C., Carbonell, R. A., Sorí, M. L., & Padrón, E. N. (2015). Aplicabilidad de la simulación computacional en la biomecánica del disco óptico. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 19(1).

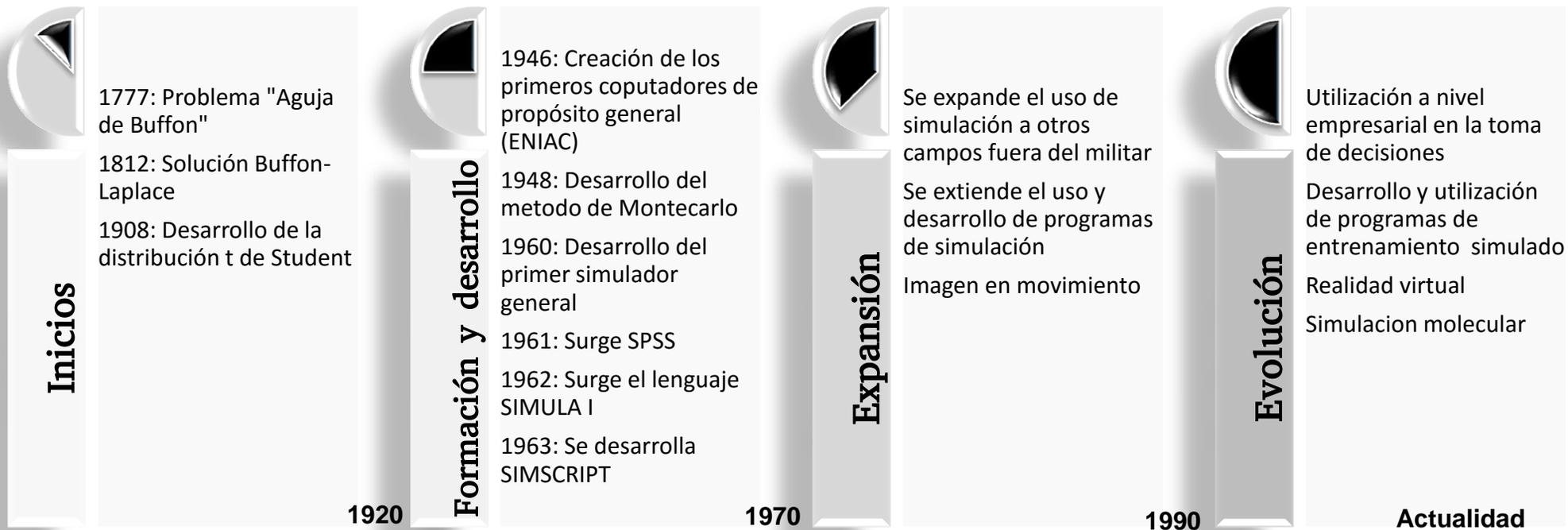
72. Pérez, I. (2001). Procedimiento para la optimización de experimentos simulados. *Tesis Doctoral. Instituto Superior José Antonio Echeverría*. La Habana, Cuba.
73. Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (Septiembre de 2010). Modelos matemáticos de optimización. Madrid, España: Universidad Pontificia de Comillas.
74. Raso, A. (2002). Métodos de Mejora de la Calidad. Disponible en: www.valoryempresa.com/monografias/monografias_rec/presentacionIV.ppt.
75. Río, D. G., García, C., Misa Llorca, R., & Columbié Navarro, Á. O. (2000). Modelación y simulación del tanque de contacto y los enfriadores de licor en el proceso de lixiviación carbonato-amoniaco con minerales lateríticos cubanos. *Minería & Geología*, 2(17).
76. Ríos, I. (2008). *Simulación. Métodos y aplicaciones*. España: Editorial RAMA S.A.
77. Rodríguez, M. H., Pedrera, C. H., Soto, M. R., & Martínez, M. S. (2015). Modelo estadístico para la simulación de reactores de lixiviación ácida. *Minería y Geología*, 98-110.
78. Rokach, L., & Maimon, O. (2008). Data mining with decision trees: theory and applications. *World Scientific*.
79. Sánchez, C. G., Ríos, R. G., & Malo, E. P. (2014). Enfoque híbrido simulación-proceso analítico jerárquico: caso de estudio del rediseño de un resaurante. *Revista de Métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 23-41.
80. Scenna, N. J. (1999). Simulación de Procesos Químicos. En N. S. col., *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos* (págs. 191-212).
81. Schaffernicht, M. (2006). *Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas*. Schaffernicht, M.: Editorial Universidad de Talca.
82. Seijas, T. L., Puebla, J. H., Robaina, F. G., Lazo, G. C., & Durruty, Y. C. (2009). Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción

- del rendimiento del maíz en la región del sur de la Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3), 1-6.
83. Shannon, R. (1988). *Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación*. Trillas, Mexico.
84. Sifuentes, V. H., Dávila, P. A., Toledo, J. L., Carbajal, M. S., & Uribe, J. A. (2000). *Simulación de Procesos en Ingeniería Química*. Mexico: Plaza y Valdez Editores.
85. Stermann, J. (2000). *Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw Hill.
86. Tarifa, E. E. (2001). *Teoría de Modelos y Simulación. Introducción a la Simulación*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy, Argentina.
87. Torres, V., & Ortiz, J. (2005). Aplicaciones de la modelación y simulación a la producción y alimentación de animales de granjas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(Número especial), 397-406.
88. Trischler, W. (1998). *Mejora del valor añadido en los procesos, ahorrando tiempo y dinero eliminando el despilfarro*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.
89. *uva.anahuac.mx*. (s.f.). Recuperado el 26 de Enero de 2016, de <http://uva.anahuac.mx/content/catalogo/diplanes/modulos/mod2/t4m2.htm#lb>
90. Villalobos, J. P., & Mejía, G. (2006). *Redes de Petri y algoritmos genéricos. Una propuesta para la programación de sistemas de manufactura flexible*.
91. Rochichan, R. d. (Enero de 2013). *rochichan.blogspot.com/*. Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de <http://rochichan.blogspot.com/2013/01/herramientas-y-analisis-de-proceso.html>
92. Zaratiegui, J. R. (1999). La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. *Economía Industrial*, VI(330), 82-88.

Anexos



Anexo 1. Evolución histórica de la simulación



Anexo 2. Resumen comparativo de los procedimientos para la simulación computacional

Himmelblau & Bischoff (1973)	Law & Kelton (1991)	Aracil (1995)	Azarang & García (1996)	Banks et al. (1996)
Formulación del problema y establecimiento de objetivos y criterios; delineación de las necesidades de operación	Formular el problema y el plan de estudio	Definición del problema	Definición del sistema	Formulación del problema
Inspección preliminar y clasificación del proceso			Análisis del sistema	Definición del sistema
Determinación de las relaciones entre los subsistemas				
Análisis de variables y relaciones	Recolectar datos y confeccionar el modelo	Conceptualización del sistema	Formulación del modelo	Formular el modelo
Establecimiento de un modelo matemático		Formalización del modelo		Colección de datos
	Construir el programa de computador y verificar		Selección del lenguaje	Implementación del modelo en la computadora
			Codificación del modelo	
Evaluación del modelo		Comportamiento del modelo	Validación	Verificación Validación
Aplicación del modelo; interpretación y comprensión de los resultados	Hacer las corridas piloto y diseño de experimentos	Evaluación del modelo	Experimentación	Diseño de experimentos
	Análisis de resultados	Explotación del modelo		Experimentación
	Documentación, presentación e implementación de resultados			Interpretación
			Implantación, monitoreo y control	Documentación

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Resumen comparativo de los procedimientos para la simulación computacional (Continuación)

Barceló (1996)	Giaglis et al. (1999)	Law & Kelton (2000)	Sifuentes et al. (2000)	DoD Modeling & Simulation S.A (2001)	
			Comprometerse		
Definir el problema y planificar el estudio	Inicio	Formulación del problema	Definir la naturaleza del problema	Formular el problema	
Recogida de datos	Simular	Recolección de datos y definición del sistema a modelar	Investigar y aplicar el conocimiento	Construir el modelo conceptual	
Formulación del modelo matemático		Verificar el modelo conceptual	Planear una solución		
Construcción y verificación del modelo para el programa de computadora		Corridas piloto y diseño de experimentos	Introducir al ordenador la información y ejecutar	Programar el modelo	
Pruebas al modelo					Verificación y validación
Validación					Diseñar, realizar y analizar lo experimentos
Diseño de experimentos	Análisis de resultados	Reporte de resultados y ajustes precisos			
Experimentación			Verificar y mirar hacia atrás	Documentación	
Análisis de resultados					Toma de decisiones

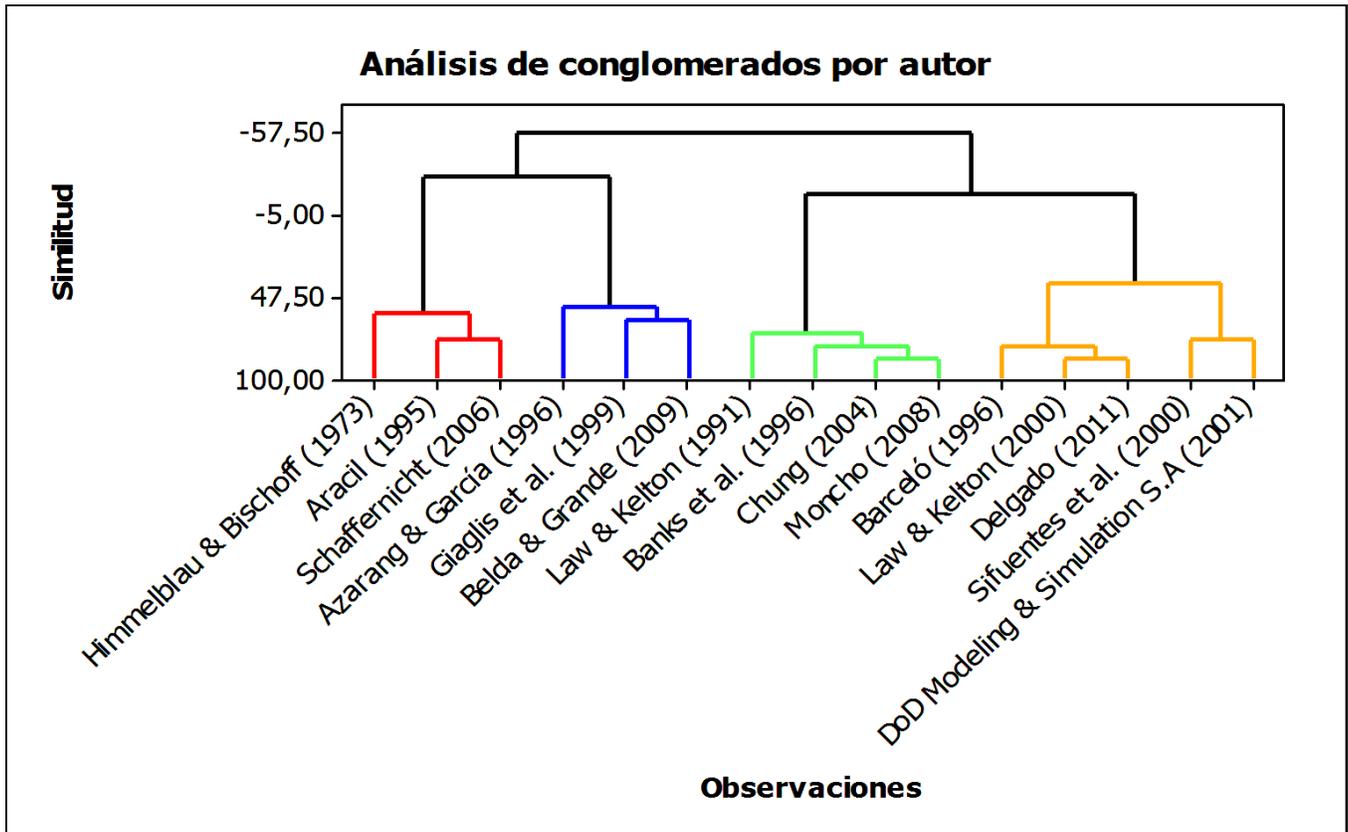
Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Resumen comparativo de los procedimientos para la simulación computacional (Continuación)

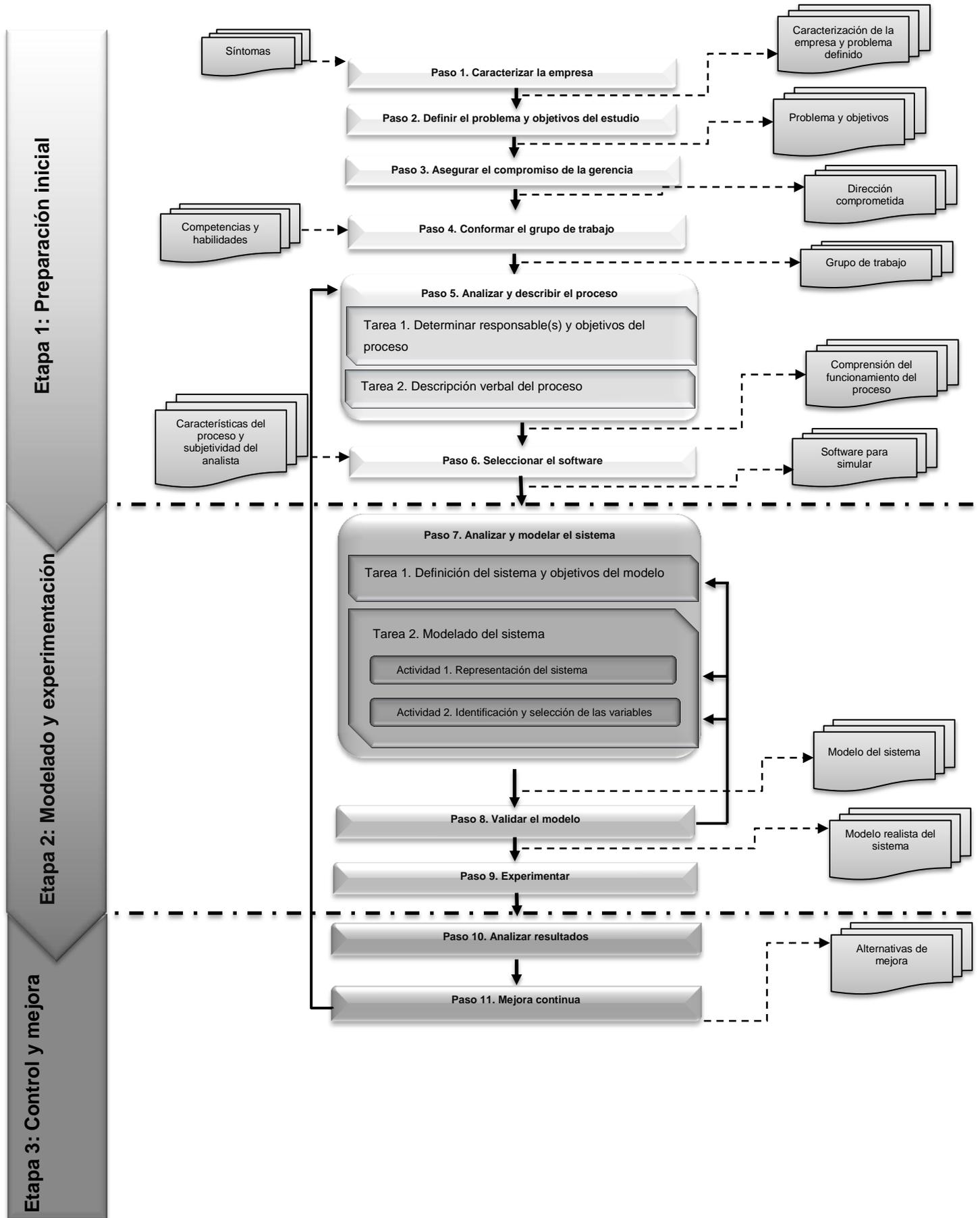
Chung (2004)	Schaffernicht (2006)	Moncho (2008)	Belda & Grande (2009)	Delgado (2011)
			Evaluación y diseño	
Formular el problema	Definir el problema	Descripción del problema	Diseño del proyecto de simulación	Formulación del problema y los objetivos
Planificación del proyecto				
Definición del sistema				
Recolección de datos, análisis y modelación	Elaborar un modelo conceptual	Construcción del modelo	Captura y análisis de datos	Modelado
	Cuantificar o formalizar el modelo		Construcción del modelo	
Transcripción del modelo a la computadora		Programar el modelo en una computadora		Implementación en ordenador
Verificación	Validar el modelo	Calibrado y análisis de sensibilidad	Verificación del modelo	Verificación
Validación		Validación		Validación
Diseño de experimentos	Explotación del modelo	Diseño de experimentos o de pruebas de optimización		
Análisis		Realización de experimentos o de pruebas de optimización		Ejecución de la simulación
Reporte y presentación de resultado		Presentación de resultados		Análisis de resultados
		Toma de decisiones	Medida de logros y mejora continua	Documentación

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Análisis de conglomerados jerárquicos por autor



Anexo 4. Procedimiento para la simulación computacional de procesos



Anexo 5. Comparación entre paquetes de software para simulación

Paquete de software	Orientado a bloques	Sim. continua	Sim. discreta	Permite importar diagramas	Requisitos del sistema	Animación	Depuración de errores	Características	Web
SIMUL8	✓		✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador Intel Core i3 o superior • 1GB libre de memoria RAM. • 170MB libre de espacio en el disco duro • Compatible para versiones de Windows XP, 7, 8, 8.1, 10 			Simulación de cualquier proceso como puede ser una fábrica, un hospital, etc. Una simulación en Simul8 consiste de Objetos (como colas y centros de trabajo) en la pantalla, con una estructura entre ellos e ítems de trabajo.	www.simul8.fr
Process Simulator		✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Pentium II 266 o mayor • 64 MB RAM • Acceso a Internet para registro en línea y actualizaciones • Windows XP o mayor • Microsoft Visio 2000 o mayor 	✓		Simula fácilmente diagramas de flujo de Microsoft® Visio®, Mapas de Cadena de Valor, y Diagramas de Flujo. Predice los requerimientos de recursos rápidamente, inversiones de capital, tiempos de proceso, niveles de servicio, etc.	www.simulart.cl/software-de-simulacion/softw-are-process-simulator
Arena	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> • Adobe ® Acrobat Reader 9.1.0 o posterior recomendado para documentación de vista. • Disco duro con 1 GB de espacio libre en disco (o más). • GB de RAM (o más) • Procesador ® de doble núcleo (o más) de Intel , 3 GHz o más rápido 	✓		Está diseñado para ser usado en toda la empresa. Modela ambos simples y complejos procesos y genera estadísticas de producción muy detalladas. Además, permite las expresiones definidas por el usuario y cuenta con acceso directo de lectura / escritura a los archivos de datos externos. Edición estándar se utiliza en todos los sectores, con mayor frecuencia en la fabricación, la asistencia sanitaria, servicio al cliente, cadena de suministro y transporte / logística Tiene un diseño orientado a objetos y capacidad para ser usado en cualquier área de aplicación.	www.arenasimulation.com
MedModel		✓		✓	<ul style="list-style-type: none"> • Intel Core i7/AMD Phenom II o superior • 8 GB RAM • 10 GB espacio libre en disco • DVIHDMI Monitor • DVD ROM • Mouse • Acceso Internet • Solo para ambiente Windows (64 bit) 	✓	✓	Para simular y analizar sistemas de salud en general, de diferentes complejidades y tamaños. Permite replicar hospitales o clínicas de forma real, principalmente a través de diagramas de flujo. El software provee constructores predefinidos especialmente diseñados para replicar el funcionamiento de un sistema por complejo que este sea.	http://www.simulart.cl

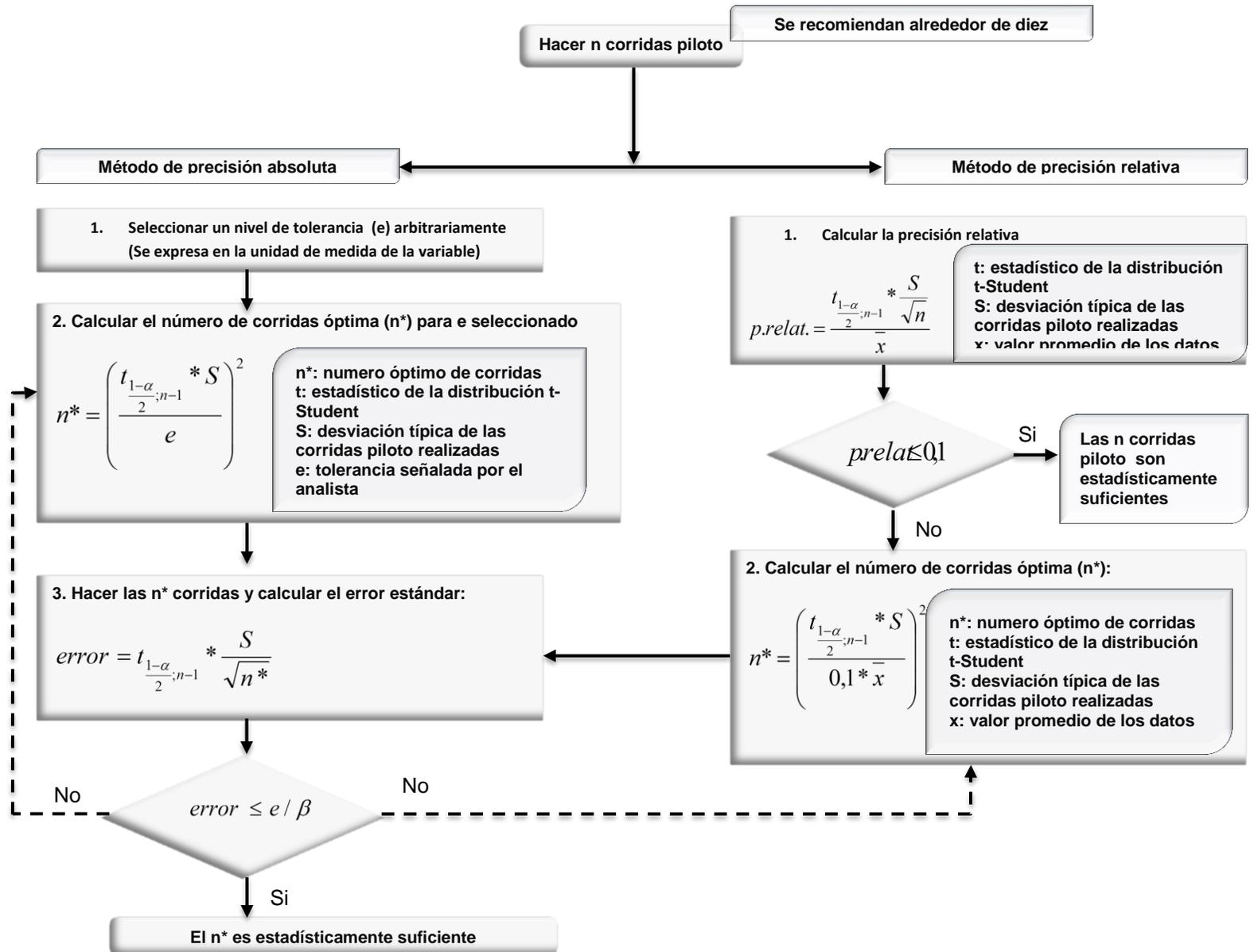
Fuente: Adaptado de Munain & Saiegg (2005)

Anexo 5. Comparación entre paquetes de software para simulación (continuación)

Paquete de software	Orientado a bloques	Sim. continua	Sim. discreta	Permite importar diagramas	Requisitos del sistema	Animación	Depuración de errores	Características	Web
ProModel			✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador Intel Core i7/AMD Phenom II o superior • 8 GB RAM • 10 GB espacio libre en disco • DVD ROM • Acceso Internet • Solo para ambiente Windows 	✓		Es un software de simulación de eventos discretos, usado para evaluar, planificar y diseñar trabajo industrial, logística y otras situaciones operacionales y de estrategia. Incluye animación y reportes gráficos. Posee poderosas herramientas para visualización y análisis de las simulaciones	www.promodel.com
Service Modeler		✓			<ul style="list-style-type: none"> • Intel Core i7/AMD Phenom II o superior • 8 GB RAM • 10 GB espacio libre en disco • 512 MB tarjeta de video o RAM compartida • DVIHDMI Monitor • DVD ROM • Mouse • Acceso Internet • Windows 7 (64 bit) 	✓	✓	Permite simular y analizar sistemas de servicio de todo tipo, de diferentes complejidades y tamaños. Todo lo que tiene que hacer es definir como un sistema particular opera, principalmente a través de diagramas de flujo.	www.simulart.cl/software/software-e-servicemodel
Bizagi Modeler Simulation			✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: 1 (GHz) o superior. 32-bit) o 64-bit • Memoria: 1 (GB) RAM (32-bit) o 2 GB RAM (64-bit) • Disco Duro: 50 MB disponibles de espacio en disco duro • Microsoft Word 2013, 2010, 2007 • Microsoft Visio 2010, 2007, 2003o resolución superior • Windows 10, 8.1, 8, 7, Vista, Server 2012 y2008 			Permite modelar procesos de negocio basado 100% en la notación Business Process Model and Notation (BPMN) y permite simular los procesos de negocio bajo el BPSim (Proceso de Simulación de Negocios) para apoyar la toma de decisiones y aumentar la mejora continua.	www.bizagi.com.es

Fuente: Adaptado de Munain & Saiegg (2005)

Anexo 6. Lógica de pasos a seguir para determinar el número de corridas óptima



Nota: Cuando en un modelo se evalúan diferentes opciones para el funcionamiento del proceso la metodología anterior se repite para cada alternativa que se vaya a evaluar; finalmente, el número de corridas que se llevará a cabo a cada una de las alternativas será la mayor n* de las calculadas anteriormente.

Anexo 7. Encuesta para la selección de expertos



Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Departamento de Ingeniería Industrial

Nombre y Apellidos: _____

Cargo: _____ Institución: _____

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado con respecto al desarrollo de estudios de simulación. Antes de realizar las consultas pertinentes se hace necesario determinar su coeficiente de competencia en el tema, a los efectos de reforzar la validez del resultado de las consultas realizadas.

Con tales fines, se le solicita que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva que le sea posible.

1. Marque con una cruz (X), en la tabla que se muestra a continuación, el valor que se corresponde con el grado de conocimientos que usted considera poseer sobre el tema. Considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde 0 hasta 10.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Realice una autovaloración del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación, ha tenido en su conocimiento y criterio sobre el tema tratado. Para ello marque con una X, según corresponda:

Fuentes de argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios		
	Alto (A)	Medio (M)	Bajo (B)
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia en el tema			
Trabajos de autores nacionales consultados			
Trabajos de autores extranjeros consultados			
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Muchas gracias

Anexo 8. Validación del procedimiento propuesto mediante el método de expertos



Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Departamento de Ingeniería Industrial

Estimado compañero(a), Ud. ha sido seleccionado para participar en la validación de un procedimiento diseñado para realizar estudios de simulación computacional. La información que brinde será crucial para el cumplimiento de los objetivos, por lo que rogamos que al responder las siguientes cuestiones lo haga de la manera más veraz posible. De antemano, gracias.

Nombre y apellidos: _____

A su juicio, califique el procedimiento diseñado siguiendo la escala que se muestra y teniendo en cuenta el grado en que se expresan los siguientes criterios:

Criterios de evaluación	Calificación
Consistencia lógica	
Parsimonia	
Flexibilidad	
Trascendencia	
Sistematicidad	
Integral	
Participativo	
Retributivo	

1. No la posee
2. Poco
3. Aceptable
4. Fuerte

Nota: Para su mayor comprensión se ofrece una breve explicación de los criterios señalados.

Consistencia lógica: relacionado con la estructura, secuencia lógica, interrelación de aspectos y consistencia interna.

Parsimonia: la capacidad de la estructuración y su consistencia lógica de permitir llevar a cabo un proceso complejo de forma relativamente simple.

Flexibilidad: relacionado con la posibilidad de ser aplicado, total o parcialmente, a diferentes situaciones.

Trascendencia: relacionado con el impacto de las acciones de su proceder.

Sistematicidad: concerniente al control y vigilancia sistemática sobre el proceso de mejora, facilitando un proceso de retroalimentación efectivo.

Integral: concerniente a un enfoque sistémico, relacionado con la totalidad de los aspectos que intervienen en él y sus interrelaciones con otros procesos.

Participativo: relacionado con la aplicación del procedimiento a distintos niveles.

Retributivo: concerniente a la identificación de su utilización e importancia.

Permanente: relacionado con la filosofía de la mejora continua.

Anexo 9. Procesamiento de los resultados de la validación del procedimiento mediante el método de expertos

Experto/Criterios	CI	Par	F	T	S	I	P	R	Pe
E1	4	4	4	3	4	3	4	4	3
E2	4	4	3	4	4	3	4	4	3
E3	4	4	4	4	3	4	4	4	4
E4	3	4	4	2	4	3	3	4	4
E5	4	3	4	3	4	3	4	4	3
E6	4	4	4	4	3	4	4	3	4
E7	4	3	4	4	4	4	4	4	4
E8	3	3	4	3	4	4	4	4	4
E9	4	4	4	3	4	3	4	3	4
E10	4	4	3	4	4	3	3	4	4
E11	4	4	4	3	4	3	3	4	4
Desviación (S)	0,463	0,518	0,354	0,744	0,463	0,535	0,354	0,354	0,518
Media (X)	3,750	3,625	3,875	3,375	3,750	3,500	3,875	3,875	3,625
Coef. Variación (Cv)	0,123	0,143	0,091	0,220	0,123	0,153	0,091	0,091	0,143
Valor (Wj)	3,750	3,625	3,875	4,000	3,750	3,500	3,875	3,875	3,625
Kexp	3,764								