

## Simulación de eventos discretos desde la ingeniería industrial Discrete event simulation from the industrial engineering

R. Zarza-Díaz <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, 54240, Jilotepec, México, México.*

### Resumen

La simulación de eventos discretos es una herramienta de modelado computarizado que tiene como objetivo realizar una representación de un modelo de producción real para evaluar diferentes escenarios de mejora que, con ayuda de análisis estadísticos permite elegir las condiciones ideales de proceso para cumplir con los objetivos planteados. Por otro lado, el campo de aplicación de la ingeniería industrial ha evolucionado puesto que, actualmente utiliza la simulación en la proyección de mejoras tanto para el sector público, privado y social. La estructura general de simulación esta alineada a: formulación del problema, recolección de datos, formulación del modelo computarizado, experimentación y conclusiones. Sin embargo, surge la necesidad de establecer las herramientas y técnicas de la ingeniería industrial para los pasos de definición del problema, recolección de datos y experimentación. Es en estas fases donde el ingeniero fundamenta sus escenarios de mejora y concibe su solución. Esta obra tiene como referente aplicativo las pequeñas y medianas empresas, dado que sus condiciones de mejora están limitadas por los recursos disponibles y la simulación permite la experimentación a bajo costo.

*Palabras Clave:* Simulación, metodología de simulación, ingeniería Industrial.

### Abstract

The discrete event simulation it's a computerized modeling tool which purpose it's to make a presentation of a real production system, to evaluate different improvement scenarios. With the help of statistical analysis, it allows to choose the ideal process conditions to meet a set of objectives. On the other hand, the scope for industrial engineering had evolved since, currently uses simulation in the projection of improvement for the public, private and social sector. The general simulation structure is composed by formulation of the problems, data collection, formulation of the computerized model, experimentation, and conclusion. However, a need arises to stablish a tool and techniques of industrial engineering for the steps of problem definition, data collection and experimentation. It is in these phases were the engineer based his improvement scenarios and conceives the solution. This research has its application reference for a small and medium sized company, since their improvement conditions area limited by shortage of available resources and the simulations allows experimentation at low cost.

**Keywords:** Simulation, simulation methodology, industrial engineering.

### 1. Introducción

Simular es imitar la conducta de un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo. Comprende la generación de una historia artificial del sistema y a partir de su análisis se logran obtener conclusiones relativas a las características de operación del sistema real. Mediante la simulación se recogen datos de funcionamiento del sistema, lo que posibilita estimar las medidas de desempeño de este. La conducta de un sistema que evoluciona a través del tiempo se estudia mediante el desarrollo de un modelo de simulación (García & Romero, 2020).

Una de las áreas de aplicación más amplias de la simulación, son los sistemas de producción, entre otras razones, porque la simulación demuestra ser útil en la estimación de un nuevo sistema (Singh, 1991). Se constituye como una herramienta importante de análisis dinámico para apoyar las decisiones de programación, secuenciación, cargas de trabajo, planeación de la capacidad y predicción de los tiempos de entrega, a diferencia de muchas otras, no considera los tiempos de ciclo como constantes (Orozco, Sablón, Saraguro, Hermoso, & Rodríguez, 2019).

\*Autor para la correspondencia: rogelio.zd@jilotepec.tecnm.mx

Correo electrónico: rogelio.zd@jilotepec.tecnm.mx (Rogelio Zarza Díaz).

La simulación moderna permite a las organizaciones evaluar escenarios de mejora por medio de parámetros y fórmulas que se encuentran alineados a sus recursos, lo que los hace fácilmente identificables para interpretar los resultados. Siendo esta característica el principal diferenciador con los modelos matemáticos que, con toda seguridad, pueden ofrecer la misma o mejor calidad en las conclusiones, pero que resultan más complicados de entender y necesitan de un conocimiento previo en la materia (Taha, Meza, Cruz, & González, 2004). Razón por la cual, actualmente la simulación de eventos discretos está siendo cada vez más aceptada en las empresas que buscan la mejora continua de sus procesos.

En las organizaciones es fundamental la toma de decisiones, ya que a partir de estas se generan distintos impactos en los procesos productivos. Por ende, las empresas pequeñas y medianas se basan en técnicas de toma de decisiones fundamentadas en el conocimiento adquirido por la experiencia, sin la posibilidad de verificar la efectividad de sus decisiones (Gereffi, 1990). Es importante que las empresas pequeñas y medianas incluyan dentro de sus herramientas básicas una que sea útil para la toma de decisiones, que no represente una inversión significativa, y que permita desarrollar experimentos en el proceso de una organización (Gilbert, 2007). Una herramienta usada actualmente por muchas organizaciones es la simulación computacional, la cual se utiliza con el fin de modificar los recursos, procesos, políticas, entre otros, sin necesidad de invertir y modificar el sistema de producción actual (Mourtzis, Doukas, & Bernidaki, 2014).

La ingeniería industrial es una carrera que no se limita al sentido estricto que se le dio en un principio de dedicarse sólo a la industria y a la manufactura sino que por su evolución hacia diferentes áreas como la investigación de operaciones y hacia los procesos integrados de gestión permite que la profesión haya encontrado campos de aplicación en donde quiera que las “operaciones” requieran sistemas formados por personas, máquinas y procesos de alguna clase, por tanto la lista de industrias de cualquier tipo en donde se puede ejercer es innumerable. El ingeniero industrial tiene por objetivo básico diseñar y rediseñar sistemas que independientemente de su tamaño sean susceptibles de mejorar la productividad de acuerdo con el uso eficiente de los recursos y ante todo la reducción de los costos (Zambrano & Alvarado, 2011).

Dado que en el mundo real es frecuente encontrarse con procesos y sistemas cuyo análisis, mediante métodos matemáticos, resulta extraordinariamente complejo o incluso imposible de llevar a cabo, el uso de simulación de eventos discretos permite resolver problemas de esta índole. En tales circunstancias, la alternativa más eficaz para afrontar este tipo de estudios consiste en construir modelos lógicos – matemáticos de forma que permitan imitar o simular el comportamiento del mundo real. Como resultado de repetir dicha simulación un número suficiente de veces se obtendrá un histórico artificial de observaciones sobre el comportamiento del sistema o proceso. A partir de dichas observaciones, y utilizando técnicas de análisis estadístico, será posible extraer conclusiones sobre el funcionamiento de dicho sistema (Rodríguez, Serrano, Monleón, & Caro, 2008).

Por todo lo anterior, este trabajo establece una propuesta metodológica de simulación de eventos discretos desde el punto de vista de la ingeniería industrial, considerando herramientas y técnicas de estudio del trabajo (estudio de tiempos y movimientos con cronometro) y mejora de procesos (gráficos de balance y balanceo de cargas de trabajo) para así contextualizar diferentes escenarios de mejora, considerando siempre el contexto de las pequeñas y medianas organizaciones, que en definitiva los recursos económicos disponibles son limitados para el rediseño completo de sus procesos.

### *1.1. Beneficios del uso de la simulación de eventos discretos en la mejora de procesos*

En el trabajo de (Rodríguez & Pérez, 2011) la simulación como técnica cuantitativa de experimentación permitió la estimación del comportamiento de una línea de producción de alimentos, confección de platos y montaje de servicios a los vuelos, considerando escenarios con mejoras ergonómicas de rediseños físicos y organizativos.

(Orozco & Cervera, 2013) plantean el uso de la simulación para el diseño y distribución de instalaciones industriales, considerando tres etapas primordiales. El análisis como primera fase, con la cual se determina la relación entre áreas funcionales del proceso, así como de los espacios requeridos. En segunda instancia esta la búsqueda, se basa en el análisis para desarrollar por lo menos tres alternativas de *layout* (plano de distribución de los espacios y ubicaciones de los distintos departamentos de una planta (Mejía, Wilches, Galofre, & Montenegro, 2011)) y finalmente selección y consideraciones, donde la selección evalúa las diversas propuestas y selecciona la que obtenga mejor resultado, es aquí donde los autores recomiendan la simulación para evaluar mejorar en indicadores como distancia total entre departamentos, tiempos de desplazamiento e indicadores establecidos en el análisis.

Para (Vásquez & López, 2017) la simulación de eventos discretos es muy útil para resolver problemas que consisten en simulaciones de colas o redes complejas con colas, en las que los procesos pueden ser bien definidos y el énfasis se pone en representar incertidumbre a partir de distribuciones.

El trabajo de (Giraldo A & Pinilla, 2015) señalan que las tecnologías de simulación permiten resaltar una realidad específica mediante un modelo lógico matemático. Con dicha tecnología tanto estudiantes como ingenieros pueden interactuar con el modelo y explorar los efectos de sus decisiones en el funcionamiento de este. En su obra se evidencia el uso de la simulación en un proceso de contratación e integración de personal, prediciendo el desempeño del sistema de acuerdo con el uso de sus recursos.

(Torres, 2012) utilizó la simulación para modelar un sistema básico de control de tráfico y así observar su comportamiento en el ritmo de arribos, tiempo de recorrido y velocidades, así como el monitoreo del tráfico, experimentar congestión y evaluar medidas para controlar el exceso

de velocidad, así mismo, evalúa el funcionamiento de semáforos en intersecciones.

(Zarza, 2021) empleó la simulación para representar una línea de galvanizado por inmersión en caliente, donde inicialmente el proceso presentaba piezas por rechazo y retrabajo de forma semanal. Con el modelo de simulación se eliminaron cuellos de botella en los subprocesos de decapado, precalentado y enfriado, proyectando una mejora sustancial con el incremento de la capacidad de producción en un 37%, reducción del tiempo ciclo en un 21%, eliminación de las piezas por rechazo y reducción en un 33% de las piezas retrabajadas.

Con fundamento en lo anterior, la simulación de eventos discretos tiene diferentes aplicaciones desde la perspectiva de la ingeniería industrial, pudiendo ser en industria de servicio o manufactura, sin embargo, en cada uno de los trabajos se generaliza el proceso de registro, análisis y cálculo de los tiempos y movimientos, sabiendo que en el proceso de simulación dichos tiempos son parte fundamental para la determinación de los ajustes a distribuciones de probabilidad, por lo cual se deben de garantizar registros con fundamentos en el estudio del trabajo. Siendo así, esta obra presenta una propuesta procedimental para la simulación de eventos discretos desde un enfoque directo de la ingeniería industrial, con mira en aplicaciones de mejora de procesos de manufactura y servicios en pequeñas y medianas empresas.

## 2. Metodología de simulación de eventos discretos

La ingeniería industrial como disciplina se dedica al diseño, la innovación, la mejora, la instalación y la administración de sistemas integrados de recursos humanos, materiales, equipo y tecnologías, organizados para la producción eficiente y eficaz de manufacturas y servicios (Romero, Pobrete, & Baesler, 2004). El profesional de la ingeniería industrial para llevar a cabo las actividades antes mencionadas y tomar decisiones tácticas y gerenciales en su quehacer científico e industrial dispone de técnicas de investigación de operaciones relacionadas con el diseño, mejora, eficiencia y optimización de todos los recursos de la organización. Muchas de las técnicas utilizan modelos matemáticos que representan la parte del proceso productivo o de negocios que se desean mejorar (Ley, 2000). Por lo que, la simulación es una poderosa herramienta que involucra el desarrollo del modelo del sistema y la experimentación para determinar cómo reacciona el sistema ante diversas condiciones. Los modelos de simulación ofrecen un gran número de ventajas, entre las más importantes se tienen (Mejía & Galofre, 2008):

- Un modelo de simulación permite comprender y documentar en forma detallada el comportamiento del proceso que se simula.
- Identificación de variables que interfieren en el proceso, de acuerdo con la conducta observada.
- Validación de la factibilidad del sistema propuesto.

- El uso del modelo permite predecir el comportamiento futuro, los efectos producidos por cambios en el sistema; sin incurrir en ningún costo.
- Permite proporcionar a los empleados y directivos orientación acerca de los nuevos sistemas propuestos.

### 2.1 Análisis metodológico de simulación

A continuación, se presenta un análisis de metodologías propuestas para la simulación de eventos discretos:

- La metodología expuesta por (Cantú, Guardado, & Balderas, 2016), señala que no todas las situaciones son viables para ser simuladas, ya sea por la simplicidad de su proceso o por la complejidad que representa, en ambos casos resulta inconveniente invertir tiempo y dinero. Si bien, las aplicaciones generales de la simulación son los procesos de manufactura, sistemas de colas, sistemas de inventarios, proyectos de inversión, simulaciones de vuelo y manejo, distribuciones de planta y reacciones químicas, sin embargo, dichas aplicaciones dependerán directamente en la experiencia y disponibilidad del uso de los diferentes softwares de simulación, en su propuesta, los autores expresan que la simulación permite suplir la experimentación física convencional, dado que permite al investigador preguntarse ¿qué pasaría si...?, para inclusive de esta forma anticiparse a los resultados mismos. Aunque, hay que señalar que la simulación es una aproximación real del sistema, y requiere de un equipo computacional y conocimiento del software seleccionado por el investigador. Finalmente, en situaciones complejas puede requerir un equipo costoso que tardaría bastante tiempo para desarrollarse.
- La metodología presentada por (Herrera & Becerra, 2014), es un análisis sistémico de referencias, en las que establece de una forma novedosa el proceso de simulación, formulando específicamente cada una de las etapas y la forma de llevarlas a cabo con miras aplicativas en pequeñas y medianas empresas. En la definición del sistema, el investigador debe ilustrar de la manera más completa posible el sistema con el cual trabajará, entendiendo su funcionamiento, condiciones reales, sus elementos, relaciones y metas, diseñando los objetivos de la simulación, las variables y medidas de desempeño. Posteriormente, se diseña el plan general del proyecto, donde se debe definir el programa a utilizar, las personas que participarán, los costos y tiempos del proceso de simulación, así como la proyección de resultados esperados. En la recolección de datos, se limita la longitud de la corrida, las fuentes de información y condiciones generales para recolectar los datos y poder proceder con el análisis de estos, que es donde se estudiarán frente a las variables definidas previamente, con el fin de establecer su comportamiento estadístico y que el modelo de simulación emule la realidad lo más apegado posible a los indicadores

iniciales. Los autores recomiendan realizar los siguientes tratamientos a los datos: pruebas de independencia, homogeneidad, bondad de ajuste y análisis de regresión. Una vez realizadas las pruebas estadísticas, se construye el modelo empleando la sintaxis específica del software a utilizar, teniendo en cuenta la lógica secuencial del proceso real. Finalmente se realiza la validación, donde se busca cotejar si el modelo es una representación fidedigna del sistema real, corroborándolo por medio de opiniones de expertos del proceso, expertos en simulación, evaluación estadística (intervalos de confianza), test de validación (las corridas deberán presentar resultados similares a los reales) para que el investigador pueda proceder con la experimentación, que es donde plantea los diversos escenarios para presentar los mejores resultados de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente. Para finalizar esta metodología, se realiza un análisis del escenario ideal con respecto a los indicadores y objetivos, y se procede con la toma de decisiones, donde la implementación de la mejora deberá ofrecer los resultados simulados.

- La metodología propuesta por (Hernández, Maravilla, García, Téllez, & Rodríguez, 2018) utilizan las etapas más importantes de un proceso de simulación, permitiendo la posibilidad de agregar u omitir alguna etapa que dependiendo de la naturaleza del caso de estudio en análisis y la visión del autor, será la cantidad y tipos de pasos a seguir. El proceso de simulación para los autores comienza con la formulación del problema, donde se debe prestar mayor atención en la detección de los cuellos de botella del proceso. La construcción del modelo conceptual está fundamentada en la creación del diagrama de flujo de proceso, donde se muestren los diferentes procesos y condiciones especiales, para facilitar el modelado en el software elegido. Una vez realizada la conversión del modelo conceptual a una representación en computadora y que este brinde los primeros resultados apegados a la realidad, se procede con la verificación y validación, para garantizar que el modelo este bien programado y a su vez se comporte de manera similar a la realidad, por lo cual, lo autores recomiendan la prueba de ancho de intervalo, donde con una simulación piloto, se calcula el número de réplicas necesarias para ajustar el modelo de simulación, de tal suerte que los resultados obtenidos sean estadísticamente válidos.

Una vez realizada la validación del sistema, se establecen los escenarios de mejora buscando el cumplimiento de los objetivos, así como la eliminación de los cuellos de botella detectados. El proceso de simulación culmina con

evaluando los diferentes posibles resultados para la toma de decisiones.

- La metodología propuesta en este trabajo tiene meramente un enfoque en la ingeniería industrial y el estudio del trabajo, ya que la simulación permite evaluar alternativas de mejora en los procesos de manufactura con inversiones mínimas previas a la aplicación real, así también la principal finalidad es llevar a cabo experimentos numéricos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dichos sistemas en un conjunto dado de condiciones (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2008) ofreciendo proyecciones confiables de los resultados.

Para muchas empresas la productividad se caracteriza como la capacidad de una empresa para producir sus productos, usando los recursos eficientemente, de tal forma que permita ser más competitivos; ya que al optimizar la capacidad de producción se puede hacer más, empleando los mismos recursos (Labarca & Zulia, 2007), por esta razón es importante destacar que, desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la recolección de datos está fundamentada en el estudio del trabajo, de forma particular en los estudios de tiempos y movimientos, para así, analizar las oportunidades de mejora en los procesos, detectar cuellos de botella y balancear las cargas de trabajo con el objetivo principal de aprovechar al máximo los recursos disponibles, que en la mayoría de las pequeñas y medianas empresas busca la mejora continua con la menor inversión económica posible dadas sus características y contexto de producción.

A continuación (Tabla 1) se contrastan los principales pasos en un proceso de simulación, con el objetivo principal de observar que el proceso general de simulación cumple con la formulación general; identificación del problema, recolección de datos, construcción del modelo computarizado, validación de modelo computarizado, formulación de escenarios de mejora, interpretación de resultados y conclusiones. Sin embargo, surge la necesidad que se definan específicamente las técnicas que pueden ser de utilidad en las etapas de identificación del problema, recolección de datos, e interpretación de resultados, dado que, desde el punto de vista de la ingeniería industrial, es en estos pasos donde la veracidad de la información es fundamental para ofrecer soluciones que permitan la eliminación de cuellos de botella y el aprovechamiento máximo de los recursos disponibles. Así mismo, la propuesta que se establezca derivada de un proceso de simulación debe ser confiable para las organizaciones y de esta manera se atrevan a realizar las modificaciones a sus sistemas de manufactura, teniendo la certeza de que los resultados previstos serán los resultados obtenidos.

el análisis de los resultados obtenidos, así como su interpretación contrastando los diferentes escenarios y

Tabla 1. Metodologías de simulación de eventos discretos.  
Fuente: Elaboración propia.

<b>Metodología propuesta por Cantú, J. R., Guardado, M. d. C. y Balderas, J. L.</b>	<b>Metodología propuesta por Herrera, J. O y Becerra, A. L.</b>	<b>Metodología propuesta por Hernández, M., Maravilla, J., García, A., Téllez, J., &amp; Rodríguez, I.</b>	<b>Metodología propuesta en este trabajo</b>
Identificar el problema	Definición del sistema	Formulación del problema	Identificación del problema
Formular el problema	Plan general del proyecto	Construcción del modelo conceptual del sistema bajo estudio	Construcción de diagrama de flujo de proceso
Colectar y procesar los datos del sistema real	Recolección de datos	Recolección de datos y ajuste a una distribución de probabilidad	Recolección de datos mediante estudio de tiempos y movimientos
Formular y desarrollar el modelo	Análisis de entrada	Conversión del modelo conceptual a una representación en computadora	Ajuste a una distribución de probabilidad
Modelar el modelo	Construcción del modelo	Verificación y validación del modelo computarizado	Construcción del modelo computarizado
Documentar el modelo para uso futuro	Validación	Formulación y evaluación de alternativas de mejora	Verificación y validación del modelo computarizado
Seleccionar apropiadamente el diseño de experimento	Experimentación	Análisis e interpretación de resultados	Diseño de experimentos
Establecer las condiciones experimentales para las corridas	Interpretación y presentación de resultados	Conclusiones y recomendaciones	Interpretación de resultados
Desarrollar las corridas de simulación	Toma de decisiones		Conclusiones y recomendaciones
Interpretar y presentar los resultados	Monitoreo y control		
Recomendar acciones futuras			

La simulación es una herramienta que permite representar, analizar y comprender un sistema o proceso en el mundo real valiéndose de la imitación de este en una computadora a través de un software en el que se realizan pruebas o experimentos a distintos escenarios del sistema con el fin de analizar los resultados arrojados y obtener así conclusiones de tal manera que sirva como apoyo para la toma de decisiones en el sistema real (Herrera & Becerra, 2014).

El método propuesto en esta obra coincide estructuralmente con los pasos de los trabajos antes expuestos, sin embargo, define particularmente las herramientas de la ingeniería industrial que se pueden utilizar en la identificación del problema, las cuales son la hoja de verificación y el diagrama de Pareto, a su vez, en la etapa de recolección de datos, se recomienda el uso del estudio de tiempos y movimientos, ya que es un análisis cuidadoso de los movimientos del cuerpo empleados al hacer un trabajo, su propósito es eliminar o reducir los movimientos no efectivos, facilitando acelerar los efectivos, afectando directamente la productividad, seguridad y calidad de la producción.

En México alrededor del 93% de las empresas pertenecen a la clasificación de micro, pequeñas y medianas, esta distribución indica que más del 99% corresponden a un sector sensible pero importante para la economía nacional, sin embargo, su

productividad alcanza un nivel máximo del 45% (Baltodano & Leyva, 2020), bajo este contexto, la metodología sugerida tiene como ventaja el uso destinado para este sector pues ofrece un análisis, entendimiento, y proyección de resultados sin requerir inversiones económicas que por lo regular dicho recurso es escaso en este tipo de sectores, pero les permitiría elevar su productividad laboral considerablemente, puesto que se comprenderá el problema desde su causa raíz (uso de herramientas básicas de calidad), se eliminarán los movimientos no efectivos (por medio del estudio de tiempos), se balancearán las cargas de trabajo (empleo de los gráficos de balance) y finalmente se proyectarán los resultados apegados a la realidad de las micro, pequeñas y medianas empresas por medio de modelos de simulación

### 3. Resultados

Los problemas con los que se enfrenta la industria, el comercio, la administración pública y la sociedad en general continúan creciendo en tamaño y complejidad. El tamaño viene determinado por el número de alternativas de diseño o de gestión distintas que se quieren evaluar y comparar. La complejidad viene por el nivel de detalle que se quiere incluir en el análisis, la incertidumbre de los datos y el número de criterios que se utilizan en la comparación de alternativas.

El proceso de análisis de un modelo de simulación toma en primer lugar, la formulación del problema y se constituye el modelo que representa el sistema. La simulación permite incluir simultáneamente relaciones matemáticas y lógicas, así como variables aleatorias que representen los datos, como puede ser la demanda. El modelo ha de ser verificado para demostrar que se comporta como el modelador quiere. Una vez representada la realidad, se realizan pruebas mediante la repetición sucesiva del modelo. En cada repetición se tomará una muestra de las variables aleatorias correspondientes a los datos de entrada, lo que proporcionará una muestra de las variables de salida, que son las que el decisor quiere estimar. Una vez que se dispone de esta estimación es necesario validar el modelo, es decir, comprobar que el modelo es representativo de la realidad. La simulación es una de las herramientas de modelización que permite conseguir una representación muy fiel, si se aporta un nivel de detalle apropiado. Con el sistema validado, se pueden estudiar distintas alternativas como si se tratara de un sistema real y estudiar su comportamiento. De esta forma, se pueden determinar las variables principales del sistema y elegir sus valores óptimos conociendo de antemano su influencia en el comportamiento del sistema real (Otamendi, 2002), por lo anterior, se detallan los pasos propuestos en la metodología de simulación propuesta.

### 3.1 Identificación del problema

Según (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2008) todo estudio debe comenzar con la declaración del problema, el cual puede ser estructurado por la organización de acuerdo con su necesidad o por el analista, en este caso se debe asegurar que el problema sea entendido con claridad. Hay ocasiones en las que el problema se reformula a medida que avanza el estudio todo dependerá de la naturaleza del problema. En la construcción del modelo se considera la capacidad de abstracción de ideas y características esenciales del problema, para seleccionar y modificar los supuestos básicos que caracterizan el sistema, luego enriquecerlo y elaborar el modelo hasta obtener una aproximación útil. Con lo anterior, en la identificación y formulación del problema se recomienda el uso de herramientas de calidad tales como:

#### 3.1.1 Hoja de verificación

La hoja de verificación es un formato construido para recolectar datos, de forma que su registro sea sencillo y sistemático, y se puedan analizar visualmente los resultados obtenidos (Gutiérrez & de la Vara, Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, 2013). Hay que considerar que la información plasmada en las hojas de verificación debe ser verídica y constatada por el investigador, para a partir de ahí comenzar con el análisis de la problemática presentada en la organización. Los datos de las hojas de verificación pueden ser las características de un producto o proceso, el comportamiento de las partes de los procesos o las personas, o diseñada de acuerdo con las necesidades específicas del investigador para recaudar los datos de estudio. La hoja de verificación se representa a través de tablas en donde se lista, en forma esquemática las características de los elementos de interés en términos de cantidad en un intervalo de tiempo determinado (frecuencia). El propósito para el cual se van a recolectar los datos debe ser claro y debe llevarse a cabo de

forma apropiada. Por ello, la actividad de recolección debe fundamentarse sobre los principios de recolectar lo requerido y con los recursos asignados (eficacia y eficiencia), con los datos recolectados se podrá construir el diagrama de Pareto para su análisis (Benavides, 2002).

#### 3.1.2 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un gráfico de barras que ayuda a identificar prioridades y causas, ya que se ordenan por frecuencia los diferentes problemas que se presentan en un proceso. El diagrama de Pareto se fundamenta en el principio 80-20, que se refiere a que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (Gutiérrez & de la Vara, Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, 2013).

El diagrama de Pareto tiene la estructura siguiente (Figura 1), en la cual la longitud de las barras dependerá de la frecuencia con la cual se presentan los problemas, teniendo en consideración que los problemas que mayor impacto tienen en el proceso tendrán una mayor frecuencia, y son en los cuales el investigador deberá enfocar sus propuestas de mejora, ya que, si se eliminan el impacto benéfico general al proceso será de mayor proporción.

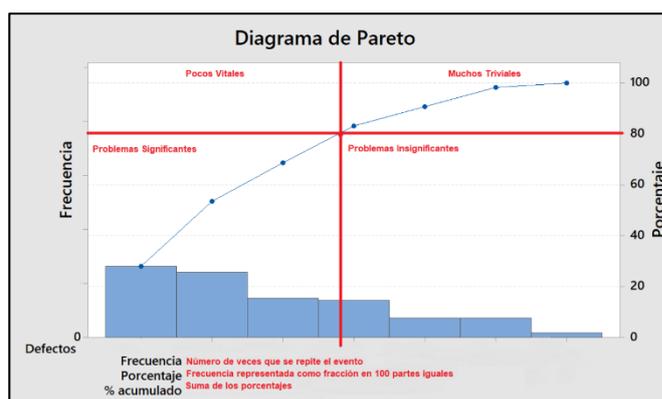


Figura 1. Estructura del diagrama de Pareto.  
Fuente: Elaboración propia.

Un diagrama de Pareto es una gráfica que representa de forma ordenada en cuanto a importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas de un problema (Gándara, 2014). Una vez detectado el problema con mayor incidencia, es aconsejable ahondar en la descripción de este, para obtener consideraciones especiales de proceso, relación y dependencia con otras variables para establecer los indicadores iniciales que serán con los que se trabajará a lo largo de la simulación, tales pueden ser cantidad de productos aceptados, productos retrabajados, *scrap* o desperdicio de proceso (el *scrap* es una palabra inglesa que se traduce como chatarra o residuo, en el contexto industrial, *scrap* refiere a todos los desechos y/o residuos derivados del proceso industrial (Hernández & Pérez, 2019)), los indicadores dependen del tipo de investigación a realizar y de los objetivos planteados.

### 3.2 Construcción de diagrama de flujo de proceso

Es una herramienta de análisis en la cual se representan gráficamente los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso o procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza (García R. , 2005). El diagrama de flujo permite la representación gráfica de los puntos en los que se introducen materiales en el proceso, el orden de las inspecciones y de las operaciones de los sistemas, excepto las incluidas en la manipulación de los materiales; además, puede comprender cualquier otra información que se considere necesaria para el análisis; por ejemplo, el tiempo requerido, la situación de cada paso o si los ciclos de fabricación son los adecuados. La simbología utilizada para la elaboración de un diagrama de flujo de proceso es la siguiente:

Tabla 2. Simbología empleada en un diagrama de flujo.

ACTIVIDAD	SÍMBOLO	RESULTADO
<b>Operación</b>		Se produce o efectúa algo
<b>Transporte</b>		Se cambia de lugar o se mueve
<b>Decisión</b>		Se verifica calidad o cantidad
<b>Demora</b>		Se interfiere o retrasa el paso siguiente
<b>Almacenaje</b>		Se guarda o protege

Fuente: Elaboración propia.

La construcción del diagrama de flujo permite visualizar cómo fluyen los datos a través del proceso, así como las transformaciones que sufren los materiales y las salidas (Sanchis, Poler, & Ortiz, 2009). El uso de los diagramas de flujo posibilita la interpretación visual de los procesos, así como un mejor entendimiento de las operaciones, secuencia y consideraciones técnicas especiales, lo que conlleva que la persona que tenga a su disposición un diagrama de flujo conozca un proceso de una manera muy rápida, así como sus consideraciones especiales. Los diagramas de flujo también permiten realizar un análisis de actividades que agregan valor o no al proceso, ya que al desglosar cada uno de los pasos necesarios para realizar determinada actividad, se pueden eliminar las actividades que no agregan valor y así optimizar los procesos mejorando los indicadores de desempeño como lo es el tiempo ciclo, indicadores de calidad o productividad. La construcción del modelo conceptual del sistema bajo estudio se fundamenta en la creación del diagrama de flujo de proceso, que es la representación gráfica del flujo de las actividades utilizando rectángulos conectados por flechas que indican la dirección del flujo. Una frase corta describe la actividad en cada rectángulo y una decisión se representa por un rombo con una pregunta en su interior. Los diagramas de flujo y sus símbolos son la base fundamental para todas las actividades de simulación de modelos (Fullana & Urquía, 2009).

### 3.3 Recolección de datos mediante estudio de tiempos y movimientos

La recolección de datos está directamente relacionada con los objetivos de la investigación (Shannon, 1975). La

conversión del modelo o traducción depende del sistema o software que se emplea, ya que el tiempo de respuesta se beneficia enormemente. Por lo que, en el proceso de recolección de datos se recomienda el uso del estudio de tiempos con cronómetro, pues es la técnica más común para establecer los estándares de tiempo en el área de manufactura. El estándar de tiempo es el elemento más importante de información de manufactura y a menudo el estudio de tiempos por cronómetro es el único método aceptable tanto para la gerencia como para los trabajadores.

El procedimiento consta de las siguientes fases principales (García R. , 2005):

- I. Preparación:
  - a. Se seleccionan las operaciones según las necesidades específicas.
  - b. La selección de los trabajadores debe estar alineada a los siguientes requisitos; habilidad, se debe seleccionar a un trabajador con habilidad promedio y deseo de cooperar. Temperamento, elegir a un trabajador tranquilo, y finalmente la experiencia, es preferible seleccionar a un trabajador con experiencia.
- II. Ejecución del estudio de tiempos:
  - a. División de la operación en elementos, un elemento es una parte esencial y definida de una actividad o tarea determinada compuesta por uno o más movimientos fundamentales del operador y de los movimientos de una máquina o las fases de un proceso seleccionado para fines de observación y cronometraje.
  - b. Medición del tiempo, una vez que se ha registrado toda la información general y la referente al método normalizado de trabajo, la siguiente fase consiste en medir el tiempo de la operación, tarea a la que comúnmente se le llama cronometraje, utilizando lecturas con retroceso a cero, ya que proporciona de forma directa el tiempo de duración de cada elemento.
  - c. Observaciones necesarias para calcular el tiempo normal, que está dada por el número de observaciones a cronometrar, razón por la cual se recomienda el uso de la tabla Westinghouse dado que proporciona el número de observaciones necesarias en función de la duración del ciclo y del número de piezas que se fabrican al año (De Lira & Romero, 2022)
- III. Valoración del ritmo de trabajo, la calificación de la actuación es la técnica para determinar equitativamente el tiempo requerido por un operador normal para ejecutar una tarea, entendiendo por operador normal al operador competente y altamente experimentado que trabaje en las condiciones que prevalecen normalmente en la estación de trabajo a un ritmo ni demasiado rápido ni demasiado lento, sino en un término medio.
- IV. Suplementos del estudio de tiempos, con el tiempo base del trabajo, se agrega un 15% de suplementos, en los cuales se consideran los tiempos utilizados por los operadores para realizar sus necesidades fisiológicas, cansancio o fatiga y condiciones laborales.
- V. Cálculo del tiempo estándar, una vez que se han terminado de realizar los pasos anteriores se procede a realizar lo siguiente:
  - a. Se calcula el tiempo promedio.

- b. Al tiempo base se le suma la tolerancia por suplementos concedidos y se obtiene el tiempo estándar, con el cual se pueden determinar el número de piezas por hora o por jornada laboral.

En esta misma etapa se recomienda el uso de las gráficas de balance para identificar las fuentes de variación (Figura 2) (Reyes, 2002), con ayuda del gráfico de balance se puede asegurar un flujo continuo y uniforme de los diferentes subprocesos, encontrando formas para igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones de trabajo (Peña, Meira, & Ruíz, XXI) con el gráfico se analizan los subprocesos con su respectivo tiempo ciclo contra el *Takt Time* o Ritmo de Producción (*Takt Time* es el tiempo en el que se debe obtener una unidad de producto (López, Martínez, Quirós, & Sosa, 2011)) evidenciando claramente los cuellos de botella.

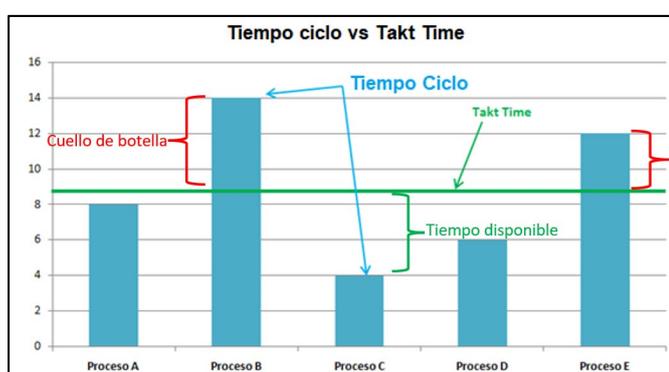


Figura 2. Estructura general de un gráfico de balance.  
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de balance permite visualizar los tiempos ciclos de todos los procesos, así como su comportamiento frente el *Takt Time*, para que se puedan diseñar las estrategias necesarias que permitan reducir los tiempos ciclos de los procesos que se encuentren por encima del *Takt Time* ya que son cuellos de botella del proceso e impiden el cumplimiento de entrega con los clientes. La reducción de los tiempos ciclos está dada por la eliminación o reducción de los principales desperdicios de los procesos tales como; tiempo muerto, inventario, sobreproducción, capital humano no utilizado, traslados entre otras actividades que no agregan valor al proceso. El objetivo principal es que los procesos se encuentren por debajo del *Takt Time* para alcanzar un flujo continuo.

Para determinar el ritmo de producción considere la siguiente ecuación (1):

$$Takt\ time = \frac{tiempo\ disponible}{demanda} \quad (1)$$

El tiempo disponible se considera por una jornada laboral, restando tiempo de comida y tolerancias, sobre la demanda o estándar por turno. De esta forma se estima el ritmo al que se deben de fabricar los productos para alcanzar la demanda solicitada por el cliente.

### 3.4 Ajuste a una distribución de probabilidad

El ajuste de los tiempos a distribuciones de probabilidad esta dado por pruebas de bondad de ajuste, que se utilizan para contrastar si los datos pueden considerarse procedentes de una

determinada distribución o modelo de probabilidad. En definitiva, las pruebas de bondad de ajuste permiten verificar qué tipo de distribución siguen los datos y, por tanto, qué pruebas se pueden o no realizar en el contraste estadístico (Romero M., 2016). El uso de pruebas no paramétricas resulta recomendable cuando los datos a analizar no cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se recomienda que el ajuste de los tiempos ciclo a las distribuciones de probabilidad sea mediante software estadístico especializado considerando que la interpretación de los resultados de una muestra muy pequeña, una prueba de ajuste pudiera no tener suficiente potencia para detectar alejamientos significativos de la distribución. Y si se cuenta con una muestra muy grande, la prueba podría tener tanta potencia que detecte alejamientos incluso pequeños de la distribución que no tengan significancia práctica, por ello, se aconseja el uso de gráficas de probabilidad, además de valores p para evaluar el ajuste de distribución, en esta obra se recomienda el uso de la tabla Westinghouse para determinar el número de observaciones a cronometrar, de esta manera la muestra sea estadísticamente significativa. Como conclusión, se considera esencial la elección tanto del programa estadístico que se desea utilizar para el análisis estadístico como principalmente, la prueba estadística que se debe utilizar en función del tamaño muestral con que se lleve a cabo la investigación (Pedrosa, Juarros, Robles, Basteiro, & García, 2015).

### 3.5 Construcción del modelo computarizado

La construcción del modelo computarizado debe ser el reflejo del sistema original real utilizando el software de simulación elegido por el investigador. Entre los elementos que dan lugar a su construcción se incluyen la programación de locaciones, entidades, llegadas de materias primas, rutas y procesos (Cantú, Guardado, & Balderas, 2016). La elaboración del modelo requiere de dos consideraciones primordiales: la primera es que es indispensable una comprensión total de todo el sistema de manera que dicho modelo sea lo más cercano posible al sistema en estudio. Por último, es preciso conocer cuál es el lenguaje que maneja el software de simulación elegido, con el fin de que la sintaxis del proceso quede bien definida (Herrera & Becerra, 2014). Un modelo de simulación es constituido usando la conceptualización del problema establecida anteriormente. En este punto es necesario definir el software de simulación que se utilizará para la construcción del modelo. Para ayudar en la tarea de construir el modelo se considera seguir las siguientes directrices: enfocarse en el problema, empezar desde lo más simple, reducir la complejidad, mantener el entusiasmo y revisar permanentemente el modelo (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009).

### 3.6 Verificación y validación del modelo computarizado

La verificación y validación debe atender primeramente si el programa informático es el adecuado para el modelo de simulación, después si éste funciona correctamente. La verificación y validación se ocupan de determinar si un modelo y sus resultados son “correctos” para un uso o propósito específico. Verificación del modelo se define como “asegurar que el programa informático del modelo computarizado y su

aplicación son correctos” y la validación del modelo se define como la “comprobación de que un modelo computarizado dentro de su ámbito de aplicación posee un conjunto suficiente de exactitud en consonancia con la aplicación prevista del modelo” (Sargent, 2014).

La verificación en pocas palabras se encarga de que el modelo se construya correctamente, evita que las transformaciones que este sufre a través de su desarrollo tergiversen la realidad que se quiere representar, para lo que se recomienda el uso del diagrama de flujo y que junto con los procesos de validación se encarguen de que se construya un modelo adecuado, es decir, que el modelo que se realice este enmarcado en los objetivos del estudio y dentro del dominio y comportamiento aplicable (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009).

Uno de los aspectos más importantes de un modelo de simulación es comprobar si reproduce adecuadamente la lógica de los procesos que tienen lugar en el sistema, verificar la corrección con que el programa de computador emula esa lógica es pues otro punto clave de la verificación. Una manera de realizarlo es seguir una traza de la ejecución del programa. En el caso de los programas de simulación de sucesos discretos una traza de la ejecución del programa consiste en un seguimiento de los estados del sistema simulado, es decir el contenido de la lista de sucesos, los valores de las variables de estado, etc. (Barceló, 1996).

En la validación es necesario efectuar una comparación entre el modelo computarizado generado y las estadísticas de las condiciones conocidas del sistema real. Es necesario realizar un número considerable de corridas para comparar los indicadores de proceso real, además se puede incluir la participación de personal conocedor del proceso, pero con una postura neutral para apoyar la imparcialidad de evaluación (Cantú, Guardado, & Balderas, 2016).

La validación generalmente se logra a través de la calibración del modelo, hasta que se considere el apego a la realidad como aceptable. El objetivo principal de la metodología de la modelización es que un modelo debe ser una representación adecuada del sistema que se estudia, para poder responder de manera fiable a las preguntas formuladas sobre el sistema, especialmente cuando el objeto del estudio del sistema a través del modelo es la toma de decisiones sobre alternativas al diseño, cambio o reestructura. Este es uno de los problemas más difíciles a los que se presenta el practicante de simulación, en otras palabras, validar un modelo de simulación (Barceló, 1996).

Por último, la prueba o evaluación del modelo se encarga de examinar si existen algún tipo de errores o inexactitudes en el modelo, poniéndolo a prueba con datos o en situaciones conocidas y observando cómo es su comportamiento (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009).

### 3.7 Diseño de experimentos

Para la formulación y evaluación de alternativas son las posibles soluciones al problema planteado y la decisión sobre qué alternativas simular, estando en función de las ejecuciones

que se completaron y analizaron. El cual establece las posibles alternativas de comportamiento o escenarios del sistema que se quieren evaluar con el modelo de simulación alineado a los objetivos establecidos en su inicio. Se debe tener en cuenta si se realizarán cambios en los parámetros o comportamientos de las variables, adición o reducción de variables o elementos constitutivos del sistema, modificaciones a las lógicas de funcionamiento del sistema o cualquier otro cambio pertinente a evaluar (Herrera & Becerra, 2014). En esta etapa, se planea, organiza y se realizan los experimentos. Por este motivo, se deben incluir aspectos como la estructura de los datos, plan de experimentación y su corrida en el modelo de simulación discreta. Para ejecutar el plan experimental utilizando el modelo de simulación discreta, se establece la condición que, para cada réplica de experimentación, se reinicie el sistema y sus estadísticas, con el fin de garantizar la independencia y confiabilidad de los resultados (Gómez & Correa, 2011).

Los escenarios propuestos deben surgir a partir de una lluvia de ideas de las posibles soluciones para el problema bajo estudio. Las más prometedoras se implementan en el modelo validado y se corren de acuerdo con el número de réplicas establecido (Ocampo & Pavón, 2012). En esta etapa se deben plantear los escenarios a simular para obtener las estadísticas que serán analizadas, teniendo en cuenta que estos experimentos deben estudiar propuestas que contribuyan a conocer el sistema, permitiendo así comprobar las hipótesis establecidas a lo largo del proyecto. Para cada escenario se debe determinar la duración de la corrida, número de corridas y modo de inicialización del modelo (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009).

Se debe indicar que el diseño experimental a desarrollar se considera como una etapa del estudio de simulación, y se encuentra alineado a la planificación maestra y la metodología para el diseño o mejoramiento de los procesos, abarcando desde los objetivos del estudio, la selección del diseño de experimentos y sus componentes, hasta los análisis estadísticos de los datos y sus conclusiones (Gómez & Correa, 2011).

El proceso por medio del cual se miden las observaciones de la respuesta se centra en un diseño estadístico. En general, en los experimentos diseñados estadísticamente, las unidades experimentales deben seleccionar de forma imparcial, así como los tratamientos asignados a éstas, mediante un proceso aleatorio, con el propósito de remover los posibles sesgos sistemáticos (Canavos, 1988). Los experimentos son esenciales para desarrollar y mejorar los métodos científicos y de ingeniería. Solo mediante la experimentación se pueden comparar las diferentes variantes de un método con el fin de comprobar cuál es el más efectivo (Navidi, 2006).

El diseño estadístico de experimentos es la forma más eficaz de hacer pruebas, pues consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos del proceso, para así resolver el problema y lograr las mejoras (Gutiérrez & de la Vara, 2008). El diseño estadístico de experimentos dependerá directamente de los objetivos planteados por el investigador, así como el tratamiento de las

variables, pruebas y factores a considerar en el arreglo. En este trabajo se recomienda el uso de los diseños factoriales, ya que permite estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Siendo que permite determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor (Gutiérrez & de la Vara, 2008), y estableciendo estos niveles, poder ofrecer el planteamiento de mejora con la proyección deseada, o que permita el cumplimiento de los objetivos establecidos por el investigador.

### 3.7 Interpretación de resultados

Un sistema de simulación está determinado por:

- El modelo conceptual: es la caracterización del modelo a simular con ayuda de diagramas de flujo.
- El modelo de datos: es la recaudación y el método empleado para obtener los datos.
- El modelo computacional: es el modelo de simulación en el software seleccionado.

En esta etapa se presenta una exposición de los principales resultados, así como su interpretación puntual, evidenciando el comportamiento del sistema con los experimentos realizados, los aportes que fueron hechos en el transcurrir del proceso de simulación, acciones tomadas a partir de las mismas y resultados de las que fueron implementadas (Herrera & Becerra, 2014). En resumen, la interpretación de resultados permitirá de forma más efectiva la toma de decisiones para resolver el problema planteado, que dependerá directamente de los escenarios formulados, el contexto de la organización donde se efectúe el proyecto, los recursos disponibles y la proyección temporal para el cumplimiento de las metas. En esta etapa se presentan los resultados del escenario que resuelva el problema, así como la descripción puntual de las variables, los factores y sus niveles manipulados por el investigador, así como beneficios y posibles desventajas de la solución, para que, con toda esta información el cliente pueda tomar la mejor decisión. Siendo que el objetivo principal de la simulación es la proyección certera de los resultados sin necesidad de invertir grandes cantidades de recursos en la experimentación. Con los resultados proyectados el investigador o el cliente puedan implementar las mejoras a los procesos de producción.

### 3.9 Conclusiones y recomendaciones

La simulación, 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 de 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 (Garza, González, Rodríguez, & Hernández, 2016)

El objetivo de correr el modelo de simulación es sacar conclusiones de los resultados que este experimento arroja, siempre se debe tener en cuenta que estas conclusiones tienen que estar relacionadas con los objetivos formulados desde el

principio del estudio, para realizar lo anterior se recomienda; hacer trabajar el modelo, cuestionar los resultados que arroja la simulación, entender los límites del modelo, saber cuándo parar, presentar alternativas y vender el éxito (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009). Finalmente, la documentación y el informe, permite comprender el problema completamente, e inclusive a que los usuarios del modelo puedan cambiar los parámetros a voluntad en un esfuerzo por aprender las relaciones entre las variables medidas de rendimiento de salida pudiendo descubrir nuevos parámetros de entrada que optimicen el desempeño. La utilización de la simulación en los procesos de manufactura sin lugar a duda es una herramienta de gran aprovechamiento para el desempeño operacional. Gracias a la simulación es posible tomar decisiones sobre probables cambios a efectuar en los procesos de manufactura sin tener que generar cambios físicos que puedan entorpecer las operaciones. El uso de la simulación de procesos mejora la eficiencia, incrementa la moral en el lugar de trabajo y contribuye al desempeño operacional (Cantú, Guardado, & Balderas, 2016).

Un proyecto es verdaderamente exitoso cuando el cliente decide implementar o actuar según la alternativa que el equipo de trabajo le presentó después de desarrollar todo el estudio, para lograr que esto suceda se recomienda; inspirar confianza, tener actitud positiva, fomentar el trabajo en equipo, involucrar al cliente, estructurar presentaciones y estar en pro del mejoramiento (Fernández, Ceballos, & Restrepo, 2009).

## 4. Conclusiones

La simulación en el ámbito de la ingeniería industrial permite crear modelos computarizados de sistemas de manufactura reales, con el objetivo primordial de llevar a cabo experimentos numéricos mediante el planteamiento de diferentes escenarios de mejora, para establecer las condiciones ideales de proceso.

La simulación es una herramienta que ofrece grandes ventajas al establecimiento de propuestas de mejora de ingeniería industrial, entre ellas la comprensión del proceso a detalle, así como la relación de sus variables de acuerdo con la conducta observada. Con un modelo computarizado del proceso, se puede evaluar la factibilidad de los escenarios propuestos, así como la predicción de los resultados, los efectos producidos por los cambios en las variables del sistema y todo ello sin requerir en algún costo de manejo. Adicionalmente, ofrece a los colaboradores información de proceso acerca de los nuevos sistemas proyectados. Una vez establecido el escenario solución, el estado ideal de un proceso de simulación es la implementación real de las mejoras propuestas, su seguimiento y verificación de los resultados proyectados, así como la capacitación de los involucrados.

En este trabajo, se presentó una guía metodológica para la simulación de eventos discretos desde la perspectiva de la ingeniería industrial, haciendo hincapié en la problematización del estado real con ayuda de herramientas básicas de calidad, tal cual es la hoja de verificación o recogida de datos y la extrapolación de los datos a diagramas de Pareto para identificar particularmente el problema de proceso, y con ello, poder establecer los indicadores iniciales, que serán las guías a

lo largo del proyecto de simulación. El entendimiento del proceso se facilita con el uso de diagramas de flujo, pues reflejan de manera gráfica el estado real del proceso, así como condiciones particulares, interrelación de factores, departamentos y subprocesos. El uso correcto de los diagramas de flujo, así como su interpretación, facilitan considerablemente el establecimiento de los escenarios de mejora al proceso en cuestión, pues considerarán el contexto de la empresa y sus recursos disponibles. La recolección de datos está fundamentada en los estudios de tiempos y movimientos para detectar los cuellos de botella, tiempos muertos y oportunidades de mejora reflejados en los gráficos de balance. Así mismo, esta guía metodológica propone el uso de los diseños de experimentos para determinar las condiciones ideales de proceso, sus factores principales, niveles de operación y resultados esperados con las mejoras proyectadas.

El proyecto de simulación termina con la interpretación de los resultados obtenidos y el reporte que presenta el proyecto general de simulación para la toma de decisiones empresariales, recordando que el objetivo de un proyecto de simulación es la implementación de las mejoras, seguimiento y validación de los resultados proyectados y en este sentido, esta propuesta tiene como premisa tener a bien el uso en pequeñas y medianas empresas, ya que les permitirá evaluar posibles soluciones alineadas a su contexto y realidad.

## 5. Referencias

- Baltodano, G., & Leyva, O. (2020). La productividad laboral: Una mirada a las necesidades de las Pymes en México. *Revista Ciencia Jurídica y Política*, 15-30. Obtenido de <https://portalderevistas.upoli.edu.ni/index.php/5-revencienasjuridicasypoliticas/article/view/633>
- Barceló, J. (1996). *Simulación de sistemas discretos*. Madrid: Isdefe.
- Benavides, L. (2002). Herramientas para la recolección y análisis de datos. *Soluciones Organizacionales* (págs. 1-4). Calidad Latina.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos*. México: Mc Graw Hill.
- Cantú, J., Guardado, M., & Balderas, J. (2016). Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*(4), 1-21.
- De Lira, M., & Romero, J. (2022). Comparación de técnicas utilizadas para la determinación de muestras necesarias para el estudio de tiempos. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(19), 30-41. doi:<https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.9189>
- Fernández, J., Ceballos, J., & Restrepo, E. (2009). Guía metodológica para la aplicación de un modelo de simulación discreta en el sector del servicio automotriz, caso específico: Euroautos LTDA-Renault Minuto. Obtenido de [https://www.iiis.org/CDs2011/CD2011CSC/CISCI\\_2011/PapersPdf/CA\\_625MU.pdf](https://www.iiis.org/CDs2011/CD2011CSC/CISCI_2011/PapersPdf/CA_625MU.pdf)
- Fullana, C., & Urquía, E. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. Universidad Pontificia de Comillas.
- Gándara, F. (2014). Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobarción. *Conciencia Tecnológica*, 17-24. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94432996003.pdf>
- García, F., & Romero, J. (2020). Diseño de un modelo de simulación, utilizando un software de eventos discretos, en una línea de producción de tejido industrial. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*(44), 22-40. Obtenido de [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)
- García, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. México: Mc Graw Hill.
- Garza, R., González, C., Rodríguez, E., & Hernández, C. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con Simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 19-35. Obtenido de [www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2337](http://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2337)
- Gereffi, G. (1990). Interiort trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain. *Journal Int. Econ*, 48(1), 37-70.
- Gilbert, N. (2007). Computational social science: Agent-based social simulation. *Comput. Soc. Sci. Agent-based Soc. Simul*, 115-134.
- Giraldo A, J., & Pinilla, J. (2015). Simulación de procesos de negocios (BPSIM) como soporte didáctico en el aprendizaje de la gestión de procesos de servicio. *Formación Universitaria*, 9(1), 99-108.
- Gómez, R., & Correa, A. (2011). Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones utilizando simulación y diseño de experimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 68-81. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492011000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492011000100008)
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México: Mc Graw Hill.
- Hernández, K., & Pérez, C. (2019). Aplicación de las herramientas de calidad para contabilizar el scrap en una empresa metal-mecánica. *Revista Ciencia, Ingeniería y Derarrollo Tec Lerdo*, 1(5), 144-148.
- Hernández, M., Maravilla, J., García, A., Téllez, J., & Rodríguez, I. (2018). *Diseño de un modelo de simulación discreta para proponer mejoras en el área de urgencias de un hospital general en Veracruz*. Misantla: Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Instituto Tecnológico Superior de Misantla.
- Javier, O., & Becerra, L. (2014). Diseño general de las etapas de simulación de procesos con énfasis en el análisis de entrada. *12 th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Guayaquil, Ecuador.
- Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). *Simulación con software Arena*. México: Mc Graw Hill.
- Labarca, N., & Zulia, U. (2007). Consideraciones teóricas de la competitividad empresarial. *Omnia*, 13(2), 158-184. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=7371320>
- Ley, R. (2000). Enriquecimiento de modelos de ingeniería industrial usando análisis de decisiones. *Revista UPIICSA (IPN)*(23), 12-19.
- López, M., Martínez, G., Quirós, A., & Sosa, J. (octubre de 2011). Balanceo de líneas utilizando herramientas de manufactura esbelta. *El buzón de Pacioli*(74), 1-22. Obtenido de [www.itson.mx/pacioli](http://www.itson.mx/pacioli)
- Mejía, H., & Galofre, M. (2008). Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos. *PROSPECTIVA*, 6(2), 39-45. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250974007>
- Mejía, H., Wilches, M. J., Galofre, M., & Montenegro, Y. (2011). Aplicación de metodologías de distribución de plantas para la configuración de un centro de distribución. *Scientia et Technica*, 63-68. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.1473>
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *Procedia CIRP*, 25, 213-229.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros*. México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexim. *10 Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, (págs. 1-10). Panama.
- Orozco, E., & Cervera, J. (2013). Diseño y distribución de instalaciones industriales apoyado en el uso de simulación de procesos. *Investig.innov.ing.*, 1(1), 6-12.
- Orozco, E., Sablón, N., Saraguro, R., Hermoso, D., & Rodríguez, Y. (2019). Optimización de recursos mediante la simulación de eventos discretos. *Tecnología en Marcha*, 32(2), 146-164. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v32i2.4356>
- Otamendi, J. (enero de 2002). *Research Gate*. Recuperado el 18 de julio de 2022, de <https://www.researchgate.net/publication/28311566>
- Pedrosa, I., Juarros, J., Robles, A., Basteiro, J., & García, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 245-254. doi:[10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad](https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad)
- Peña, D., Meira, Á., & Ruíz, R. (XXI). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica*, 21(3), 239-247. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950585006>
- Reyes, P. (2002). Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Contaduría y Administración*(205), 51-69.

- Rodríguez, J., Serrano, D., Monleón, T., & Caro, J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gac Sanit*, 22(2), 151-161.
- Rodríguez, Y., & Pérez, E. (2011). Ergonomía y simulación aplicadas a la industria. *Ingeniería Industrial*, XXXII(1), 2-11. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433575002>
- Romero, R., Pobrete, M., & Baesler, F. (2004). Modelo de programación de la producción para la industria del aserrío. *Revista de Ingeniería Industrial*, 3(1), 19-23. Obtenido de <http://www.ici.ubiobio.cl/>
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista enfermería del trabajo*, 105-114.
- Sanchis, R., Poler, R., & Ortiz, Á. (2009). Técnicas para el modelado de procesos de negocio en cadenas de suministro. *Información tecnológica*, 20(2), 29-40. doi:10.1612/inf.tecnol.4017it.08
- Sargent, R. (2014). Verifying and validating simulation models. Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference.
- Shannon, R. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Englewood: Prentice-Hall.
- Singh, D. (1991). You can use simulation to make the correct decisions. *Industrial Engineering*, 23, 39-42.
- Taha, H., Meza, G., Cruz, R., & González, V. (2004). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Education.
- Torres, P. J. (2012). Simulación del tráfico en una vía expresa y análisis estadístico de los resultados. *Ingeniería Industrial*(30), 45-75. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428496004>
- Vásquez, A., & López, E. (2017). Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes. *Ingeniería industrial*(35), 27-52. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337453922002>
- Zambrano, S. M., & Alvarado, F. E. (2011). Surgimiento y evolución de la ingeniería industrial. *In Vestigium Ire*, 4, 19-28.
- Zarza, R. (2021). Simulación de mejora en el proceso de galvanizado. *XXVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM* (págs. 1 - 10). Pachuca, Hidalgo México: SOMIM.