

# AVANCES EN INVESTIGACION FORMATIVA

## Memorias del I Encuentro de Investigación Formativa, 2010

### Universidad Pontificia Bolivariana



**Escuela de Ingenierías**

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**Grupo de Investigación en Sistemas Aplicados en la Industria (GISAI)**

**2010**

## PRÓLOGO

Hablar de la investigación formativa en el entorno académico implica necesariamente hacer un ejercicio de reflexión e interiorización acerca de nuestro quehacer docente en aras de construir los pilares básicos del proceso investigativo desde el aula, es si se quiere, la posibilidad manifiesta del encuentro y desencuentro con el alumno y el docente en un permanente dialogo de saberes acerca de los múltiples objetos de estudio que tanto la realidad como la ciencia y la técnica nos convocan a problematizar desde nuestro claustro académico, es entonces, una imperiosa necesidad de abordar desde las pequeñas dudas hasta los complejos problemas la voluntad inquebrantable de la academia por formar en el hacer y en el pensar para servir a una sociedad ávida de soluciones que nos demanda día a día ingentes esfuerzos por vincularnos estrechamente a sus cotidianidades, es entonces hablar sobre el cómo volvernos y volver al otro y a lo otro con la clara vocación de seguirmos sorprendiendo, extrañando y curioseando en nuestra permanente búsqueda de la verdad histórica que nos convoca hoy y siempre.

Siendo así, la Dirección de la Facultad de Ingeniería industrial a través de su **Grupo de Investigación Sistemas Aplicados en la Industria (GISAI)** de la Universidad Pontificia Bolivariana considerando importante y necesario dar a conocer ante la comunidad académica de nuestra universidad los resultados parciales y finales de los proyectos de aula en el marco del desarrollo de nuestro proceso de investigación formativa que actualmente adelanta la Escuela de Ingenierías y en específico la Facultad de Ingeniería Industrial, han realizado este nuestro **I ENCUENTRO DE INVESTIGACION FORMATIVA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**.

Evento que conto con la participación activa de docentes, investigadores, estudiantes, egresados y comunidad en general para generar un diálogo de saberes donde se permita visualizar el quehacer investigativo desde nuestra aulas, donde tuvo asidero el debate, la sana critica y la confrontación respetuosa y dignificante de las ideas propias del fundamento investigativo y del espíritu crítico y científico de nuestra Universidad.

Colocamos entonces hoy a consideración de los lectores el resultado del trabajo en equipo y las publicaciones derivadas en forma de ponencias que fueron enviadas y presentadas en este **I ENCUENTRO DE INVESTIGACION FORMATIVA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**.

**Msc. Javier Darío Fernández Ledesma**

**Director Grupo de Investigación GISAI**

**Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Industrial**

# **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DISCRETA EN EL SECTOR DEL SERVICIO AUTOMOTRIZ, CASO ESPECÍFICO: EUROAUTOS LTDA.-RENAULT MINUTO**

**Julián Andrés Ceballos Carillos**

**Eyder Daniel Restrepo Núñez**

**Docente: Javier Darío Fernández Ledesma**

**Área: Optimización**

## **RESUMEN**

En este documento se proponen una serie de pasos para construir un metodología para la definición de modelos de simulación debido a que la mayoría de las compañías actualmente piensan que la simulación es un elemento asilado con respecto a los modelos actualmente usados para mejorar y resolver problemas en el campo de la manufactura. Se estudió la iniciativa de construir una guía metodológica que integre la simulación con las bases de la administración de proyectos y en la experiencia adquirida durante la implementación de un modelo de simulación discreta en Euroautos Ltda. y en diferentes referentes teóricos previamente consultados. En este trabajo se presentan nueve etapas para construir un modelo de simulación orientado a cualquiera que quiera desarrollar un proyecto bajo el rigor de una investigación apropiada y mejores posibilidades de éxito para alcanzar resultado positivo bajo la premisa de eficiencia, económica y seguridad.

## **INTRODUCCIÓN**

El actual entorno globalizado y altamente competitivo impone que hoy nuestras industrias se vean enfrentadas principalmente a tres grandes retos: la optimización de recursos y procesos, la reducción de los costos y la disminución de los riesgos. Es aquí donde las nuevas técnicas de simulación permiten alcanzar en gran medida estos objetivos a través de la experimentación y análisis de escenarios visualizados donde se pueda conocer el comportamiento de las variables en el tiempo, realizar modificaciones experimentales de los parámetros del sistema y conocer las estadísticas e indicadores para tomar decisiones basadas en información exacta y oportuna.

La simulación surge de la evolución del método de Montecarlo y la aplicación de modelos estadísticos y matemáticos por medio de herramientas informáticas principalmente la computadora. En 1948 con el trabajo de Harris y Herman Kahn se inicia el estudio de la simulación como campo de conocimiento; estos sistematizaron las primeras técnicas de simulación que hoy en día se han venido aplicando en diferentes entornos de simulación. [1]

Desde los años 70's la educación de la simulación ha venido ganando especial atención debido a la creciente aceptación de la modelación y la simulación (M&S) a través de las diferentes disciplinas de la ciencia y sus variadas aplicaciones tales como la industria militar, producción y servicios. [2]

Ante el auge alcanzado por las herramientas, modelos y casos de aplicación surge la iniciativa de construir una guía metodológica basada en la experiencia adquirida durante la aplicación de la simulación en un entorno específico, con la cual se busca facilitar la utilización de la simulación en la industria y otros campos de aplicación. En la segunda sección se muestran los antecedentes conceptuales e investigativos del proyecto, en la tercera sección se muestran los

elementos metodológicos desarrollados en el proyecto, en la cuarta sección se muestra el caso práctico de aplicación y por último, se presentan las conclusiones y futuros trabajos que dan pie a ser abordados posteriormente.

## **ANTECEDENTES CONCEPTUALES E INVESTIGATIVOS**

Una de las definiciones más aceptadas de simulación fue dada por uno de los pioneros de la simulación Tomas H. Naylor quien la define así: “La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos 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 periodos de tiempo” [4]. De igual manera H. Maisel y G. Grugnoli definen la simulación como: “Una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo”. Otro estudioso del tema Robert E. Shannon define por su parte, simulación como “El proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema.”

Es importante aclarar que ninguno de los autores que definió la simulación anteriormente nombra la simulación de eventos discretos, la cual es el foco de este trabajo. García Dunna en su texto Simulación y análisis de sistemas con Promodel® define la simulación de eventos discretos como: “El conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio, cuando se presenta un evento determinado.”[5].

Ahora bien, un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan para lograr un propósito definido; para términos de la simulación, los sistemas se pueden dividir en elementos importantes para la construcción de un modelo de simulación.

Simular un sistema entonces significa imitar un procedimiento que se aproxima al comportamiento real. Para la simulación, el sistema depende principalmente del objetivo de estudio.

Es así como las entidades del sistema vienen a constituirse en la representación de los flujos de entrada y salida de un modelo de simulación, este es uno de los elementos más importantes dentro de un modelo. Las entidades son las responsables de los cambios dentro del sistema, estas son sometidas a actividades y/o procesos a través del tiempo, causando la variación del estado del sistema.

El estado del sistema se define entonces como la colección de indicadores necesarios para describir la condición de éste en un momento determinado, estos indicadores deben ser congruentes con el objetivo de estudio, algunos autores lo asemejan a una fotografía del sistema.

Es así, como los sistemas discretos, que son el objeto de nuestro trabajo, son aquellos donde las variables de estado cambian en momentos de tiempo discretos establecidos, estos sistemas se rigen por ecuaciones lógicas (condiciones) para que un evento ocurra, como por ejemplo inspeccionar la calidad de un proceso una vez cada dos horas. Los sistemas de eventos discretos tienen como principal característica que están determinados por una secuencia de eventos que ocurren en puntos temporales aleatorios, generando el cambio de estado del sistema en estos puntos, como por ejemplo la llegada de clientes a la fila de un banco.

Finalmente, los sistemas continuos, son aquellos que puede ser descrito a través de un sistema de ecuaciones diferenciales, tal como pueden ser la variabilidad de flujo de un líquido que pasa por una tubería, el cual es medido continuamente en un periodo de tiempo. Este tipo de sistemas es considerado el más complejo debido a que estos sistemas se rigen por el cálculo diferencial.

**Tabla N.1 Comparación de Propuestas Metodológicas para la Simulación**

METODOLOGIA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1.2.1 METODOLOGIA POR GILBERT DOMINA, GARCIA Y CARMONA EN 2006	<p><b>Etapa de inicio</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición del sistema bajo estudio.</li> <li>2. Determinación del número de simulaciones.</li> <li>3. Recopilación y análisis de datos.</li> </ol> <p><b>Etapa de desarrollo</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Caracterización del modelo preliminar.</li> <li>5. Verificación del modelo.</li> <li>6. Validación del modelo.</li> <li>7. Operación del modelo final.</li> <li>8. Caracterización de los escenarios para el análisis.</li> <li>9. Modelado de sensibilidad.</li> <li>10. Documentación del proceso.</li> </ol> <p><b>Conclusiones y recomendaciones</b></p>	<p>Presenta etapas y generalización.</p>	<p>No incluye los pasos más básicos del proceso de simulación, ni se requiere definir los objetivos de la simulación, ni se definen las limitaciones y restricciones del mismo.</p> <p>Metodología poco descriptiva, guía generalizada de desarrollo que carece de orientaciones prácticas. Incluye recomendaciones para lograr satisfactoriamente cada etapa.</p> <p>No se tiene en cuenta la implementación del modelo.</p>
1.2.2 METODOLOGIA POR CHRISTOPHER CHANG EN 2004	<p><b>Etapa de inicio</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formulación del problema.</li> <li>2. Planeación del proyecto.</li> <li>3. Definición del sistema.</li> <li>4. Recopilación de los datos.</li> <li>5. Traducción del modelo.</li> <li>6. Verificación y validación.</li> <li>7. Diseño experimental.</li> <li>8. Análisis.</li> <li>9. Implementación de los simulaciones y resultados.</li> </ol>	<p>Presenta recomendaciones para facilitar el avance de los datos analíticos.</p> <p>Presenta varias posibilidades de software para realizar el modelo de simulación con sus ventajas y desventajas.</p> <p>Presenta guías para la validación tanto cualitativa como cuantitativa.</p> <p>Contiene una guía de programación.</p> <p>Presenta técnicas de análisis estadístico para comparar los modelos.</p> <p>Recomienda los modelos por etapas y estructura de flujo de trabajo (SOP) para procesos muy simples.</p>	<p>No incluye la presentación de alternativas, ni la implementación de las propuestas dadas después del análisis.</p> <p>No incluye la documentación del modelo (software).</p>
1.2.3 METODOLOGIA POR BLASCO BUENO Y FAJARDO PEDRANTIA EN 2001	<p><b>Etapa de inicio</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer plan de estudio.</li> <li>2. Definir el sistema.</li> <li>3. Construir el modelo.</li> <li>4. Aplicar el experimento.</li> <li>5. Analizar los resultados.</li> <li>6. Reportar los resultados.</li> </ol>	<p>Presenta el análisis detallado de los resultados mediante la comunicación eficaz y el pensamiento analítico para evaluar las prestaciones del sistema.</p> <p>Recomienda la implementación por etapas en procesos muy simples que abarcan el análisis de la simulación.</p>	<p>No presenta los efectos de verificación, validación, documentación ni implementación del modelo.</p>
1.2.4 METODOLOGIA POR JERRY BARNES EN 1998	<p><b>Etapa de inicio</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formulación del problema.</li> <li>2. Establecer los objetivos y planeación general del proyecto.</li> <li>3. Caracterización del problema.</li> <li>4. Recopilación de los datos.</li> <li>5. Traducción del modelo.</li> <li>6. Verificación.</li> <li>7. Validación.</li> <li>8. Diseño experimental.</li> <li>9. Ejecución de corridas y análisis.</li> <li>10. Verificación de corridas.</li> <li>11. Documentación y reporte.</li> <li>12. Implementación.</li> </ol>	<p>Presenta varias sugerencias.</p> <p>Presenta el análisis detallado del modelo en todo el proceso de construcción del modelo.</p> <p>Ofrece un flujo general de proceso de flujo claro y concreto, teniendo en cuenta todos los elementos necesarios para construir una simulación completa de un modelo de simulación.</p> <p>Se recomienda que el modelo sea de una sola etapa y sencillo que debe construir el modelo modelo en que la implementación del modelo sea sencilla.</p> <p>Se incluye un algoritmo de flujo que indica y cubre los aspectos de construcción de la simulación, concretamente, se presenta la implementación como una etapa de la simulación.</p>	<p>No incluye descripción del proceso de elaboración del modelo.</p>
1.2.5 METODOLOGIA POR LA FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (PINA)	<p><b>Metodología de inicio</b></p> <p>Metodología de inicio que debe tenerse en cuenta:</p> <p>Metas son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición del sistema con el máximo de detalle.</li> <li>2. Recopilación del modelo para el análisis de datos.</li> <li>3. Validación y ajuste en el modelo.</li> <li>4. Implementación del modelo.</li> <li>5. Definición de la estructura del modelo.</li> <li>6. Programación del modelo.</li> <li>7. Verificación del modelo.</li> <li>8. Análisis y ajuste de los resultados.</li> </ol>	<p>Estimula el trabajo en grupo entre el usuario y el programador de hacer el estudio.</p> <p>Ofrece el "trabajo" de variables que puede seleccionar a fondo las variables necesarias para el modelo.</p> <p>Brinda apoyo de una computadora que hace con diferentes conjuntos de datos.</p>	<p>Poca descripción de los documentos que se deben presentar a los interesados en el estudio.</p> <p>No contextualiza en la parte técnica.</p>
1.2.6 METODOLOGIA POR EBRAHIM ABUETTAN	<p><b>Definición de los datos para realizar una simulación en un caso práctico</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición del sistema.</li> <li>2. Formulación del modelo.</li> <li>3. Caracterización de datos.</li> <li>4. Implementación del modelo en la computadora.</li> <li>5. Validación.</li> <li>6. Experimentación.</li> <li>7. Implementación.</li> <li>8. Documentación.</li> </ol>	<p>Analiza desde el inicio del estudio la posibilidad de usar un caso práctico.</p> <p>Presenta diferentes formas de realizar la validación de la simulación, además se presenta como requisito para la experimentación.</p> <p>Ofrece una guía de documentación para las variables que deben ser con el estudio.</p>	<p>No recomienda que especifique en detalle considerar cuando se presenten diferentes conjuntos de datos.</p> <p>No contextualiza en la parte técnica.</p>

**Fuente:** Autores

Después de realizar una revisión bibliográfica de metodologías de Simulación [6], [7], [8], [9] y [10], y un posterior análisis, donde se propusieron los elementos comparativos para la construcción de una guía metodológica que pretende abarcar los aspectos positivos de cada de una de las metodologías estudiadas. Además de utilizar la experiencia adquirida durante la realización del proyecto de simulación en Euroautos Ltda. con el objetivo de agregar valor desde el punto de vista de una aplicación a nivel local.

## PROPUESTA METODOLOGICA

Después de un acercamiento a las medianas y pequeñas industrias locales se percibió que la aplicación de la simulación es concebida por parte de las compañías como una técnica aislada con respecto a los modelos convencionalmente utilizados en la mejora y solución de problemas en los procesos de manufactura y/o servicios.

Algunos datos publicados por la Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ACOPI) en el año 2009 revelan la necesidad de incorporar alternativas tecnológicas y técnicas innovadoras, que se podrían traducir en una técnica como la simulación para que las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Colombia sobrepasen las dificultades competitivas que impiden la participación en mercados internacionales, debido a que según las estadísticas manejadas por esta asociación el panorama es preocupante, pues las PYMES están atrasadas, ya que su nivel de productividad no llega al tope de lo que debería ser una empresa normal; En Colombia estas alcanzan apenas el 25%. [3]

Esto evidencia que hay falencias en la aplicación de técnicas que contribuyan al mejor desempeño de la productividad y en especial el desconocimiento de la simulación en los entornos empresariales como una forma de contribuir en el mejoramiento de la productividad y competitividad de las pequeñas y medianas empresas.

En este sentido este proyecto, fundamentado en la aplicación del ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actual), y en los pasos más generales para la construcción de modelos de simulación discreta busca dar solución al problema anteriormente planteado.

Las siguientes nueve etapas comprenden de manera integral los aspectos más importantes para llevar a cabo un proyecto de simulación válido y con altas posibilidades de éxito.

**Planeación general del proyecto y formulación del problema.** En esta etapa se pretende definir la dirección del proyecto en términos de: Identificar los requisitos, Establecer unos objetivos claros y posibles de realizar, Equilibrar las demandas concurrentes de calidad, alcance, tiempo y costos, Adaptar las especificaciones, los planes y el enfoque a las diversas inquietudes y expectativas de los diferentes interesados. De la formulación del problema se derivan las demás actividades del proyecto, es aquí donde se comienza a establecer el tema central y el alcance del proyecto. En esta primera etapa se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos para su implementación: Presentación general de los parámetros generales para iniciar adecuadamente el proyecto, Trabajar en el problema correcto, Gestión de las expectativas del cliente, Preguntar habilidosamente, Escuchar imparcialmente, Comunicar abiertamente y Predecir la solución.

**Conceptualización del problema.** Para esta segunda etapa se recomienda trabajar bajo el modelo mental del pensamiento sistémico con el objetivo de hacer uso de ésta herramienta que permite analizar las problemáticas desde todos los elementos que componen un sistema, sin dejarse perturbar por soluciones dirigidas a atacar los síntomas, este modelo de pensamiento trasciende el marco conceptual y genera relaciones directas de los fenómenos reales modelados a través de los conceptos. Por medio de la socialización del grupo de trabajo y el cliente es posible determinar la relación de las variables del problema a analizar por medio del método, para posteriormente partir de estas relaciones e ilustrar su interacción mediante un diagrama causal.

**Recolección de los datos.** La gestión de datos es un tema crítico dentro del desarrollo de un estudio de simulación, se puede decir que el aspecto más difícil es recoger suficientes datos, con la calidad, cantidad y variedad conveniente para el análisis en el estudio en donde es importante detallar algunos aspectos. Se debe recalcar que en algunos casos es imposible o poco factible dicha recolección, o a veces no se tiene ni el tiempo ni el suficiente recurso humano para reunir la cantidad deseada. En ocasiones y en contraste con la estadística clásica, resulta difícil seguir la forma sistémica o ideal que se propone para la recolección de datos, y se debe emplear una forma más hábil o simplemente encontrar las fuentes de datos que suplan las necesidades para la modelación. Algunas recomendaciones útiles en el momento de recolectar datos específicamente para un estudio de simulación, son: Si existe la posibilidad, tomar entre 100 y 200 observaciones, pues esto mejorará enormemente la veracidad del análisis, se puede decir que el decrecimiento en la calidad del análisis con una pequeña muestra es notable. Para observación de valores reales, intentar tomar al menos dos o tres cifras significativas, esto mejorará la precisión del modelo y por ende la calidad del análisis. Cuando se está interesado en tiempos entre eventos, se sugiere tomar primero todos los tiempos y luego sustraer la información de los eventos deseados, ya sea manualmente o con un software que facilite esta labor. Cuando es necesario emplear datos históricos, es recomendable buscar los datos de diferentes periodos, para evitar trabajar con datos estacionarios.

**Construcción del modelo.** Un modelo de simulación es construido usando la conceptualización del problema establecida anteriormente. En este punto es necesario definir el software de simulación que se utilizará para construir el 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.

**Validación del modelo.** 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. La validación se encarga de que se construya el modelo adecuado, es decir, que el modelo que se realice este enmarcado en los objetivos del estudio y dentro del dominio y comportamiento aplicable. 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.

**Diseño experimental.** 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 hipótesis establecidas a lo largo del proyecto. Para cada escenario se debe determinar: Duración de la corrida, Número de corridas y Modo de inicialización del modelo.

**Simulación y análisis.** 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 al modelo, Cuestionar los resultados que arroja la simulación, Entender los límites del modelo, Saber cuándo parar, Presentar una alternativa y Vender el éxito.

**Documentación y reporte.** Los modelos de simulación son construidos para ser utilizados y a través del uso los modelos evolucionan. Teniendo una documentación completa del modelo y del proyecto se facilitan los requisitos de información para apoyar el uso continuo del modelo y permite mantener informado al cliente de las actividades realizadas de manera cronológica lo que permite que este sea entendido y se mantenga el entusiasmo del proyecto. El registro debe proporcionar un registro exhaustivo de los logros, problemas dignos de mencionar, las solicitudes de cambio, las decisiones claves, las ideas para incorporar, y cualquier información considerada relevante.

**Implementación.** 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 presentan las siguientes recomendaciones: Inspirar confianza, Tener actitud positiva, Fomentar el trabajo en equipo, Involucrar al Cliente, Estructurar presentaciones y Estar en pro del mejoramiento y Realizar seguimiento.

Como se dijo anteriormente esta metodología está fundamentada en el ciclo PHVA los pasos están encamados en cada uno de estas etapas. Donde es necesario establecer recursos, actividades y estrategias de mejoramiento asociados a cada uno de los elementos con el fin de alcanzar metas establecidas.

## **Tabla N.2 Esquema de la Propuesta Metodológica para la Simulación enmarcada en el Ciclo PHVA**

**ETAPAS DE LA PROPUESTA METODOLOGICA ENMARCADA EN EL CICLO PHVA**

<b>PLANEAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeación general del proyecto y formulación del problema.</li> <li>• Conceptualizar el problema.</li> </ul>
<b>HACER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolectar los datos.</li> <li>• Construir el modelo.</li> <li>• Diseñar el experimento.</li> <li>• Simular y analizar.</li> <li>• Documentar y reportar.</li> </ul>
<b>VERIFICAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Validación, verificación y prueba del modelo.</li> </ul>
<b>APLICAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar.</li> </ul>

**Fuente:** Autores

**CASO DE ESTUDIO**

Con el objetivo de ejemplificar y enmarcar la realización de un modelo de simulación en la industria, se sigue cada uno de los pasos de la metodología planteada en el siguiente caso de aplicación en el sector de servicios automotriz, caso específico: Euroautos Ltda. - Renault minuto.





**Figura 1: Modelo de Simulación de Euroautos Ltda.**

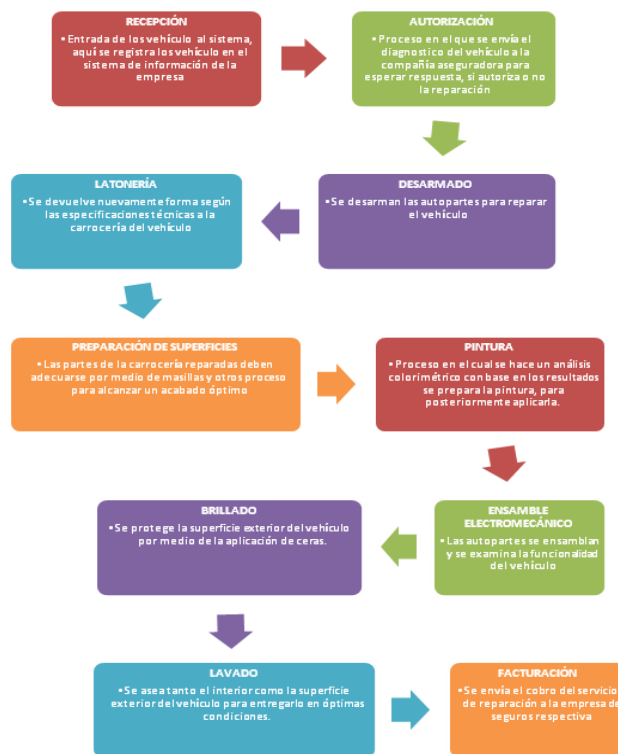
**Fuente:** Autores

También con fin de ilustrar el diseño y desarrollo de un proyecto de simulación, se presenta la definición de variables, e identificación de locaciones, entidades, rutas y tiempos de operación del modelo simplificado. Allí se analiza el comportamiento de las variables con información histórica y actual, y además se implementa el diseño y desarrollo de la simulación del modelo para dicha empresa en el software ProModel®.

La implementación de la metodología propuesta se llevo a cabo siguiendo las etapas de: Planeación general del proyecto y formulación del problema en Euroautos. Conceptualización del modelo de reparación de vehículos. Recolección de los datos del sistema de reparación de vehículos. Construcción del modelo de simulación para Euroautos. Verificación, validación y prueba del modelo. Diseño experimental del modelo. Simulación y análisis. Documentación y reporte e Implementación

Debido a que el modelo debía ser simplificado se consideró en consenso con el cliente que el proceso más apropiado para simular era el de los vehículos que ingresaban por Aseguradoras, pues este es uno de los clientes más críticos de Euroautos, ya que se presentan algunas dificultades en tipo de proceso debido a las condiciones que presentan las aseguradoras para reparaciones y otros aspectos relevantes.

El proceso simulado fue el siguiente:

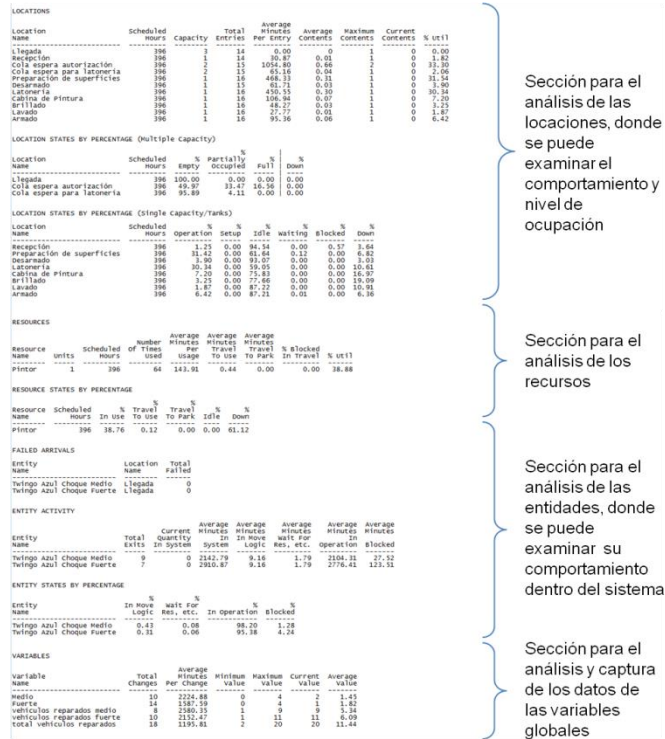


**Figura 2: Proceso a Simular de Euroautos Ltda.**

**Fuente:** Autores

Del cual se determinaron las entidades de estudio, las locaciones claves, la declaración de variables, las adecuaciones necesarias para hacer un modelo simplificado, y la definición de supuestos. Quedando un modelo con once (11) Locaciones, veintinueve (29) supuestos, veintitrés (23) variables y dos (2) limitaciones. Las variables del modelo fueron validadas estadísticamente mediante el software Statgraphics y el modelo se desarrollo usando el software Promodel.

Este modelo arrojo los siguientes resultados:



**Figura 3: Resultados del Modelo de Simulación de Euroautos Ltda.**

**Fuente:** Autores

En síntesis, el modelo permitió observar lo siguiente:

El tiempo asignado a la simulación correspondió a 396 horas reales de trabajo que representan tres meses de operación en el taller.

La locación que registra mayor tiempo promedio de las entidades en ella corresponde a la Cola de autorización de las reparaciones que implica tomar decisiones para disminuir el tiempo entre la llegada del cliente y la entrega de su vehículo.

Por otra parte, se identificaron las locaciones de preparación de superficies y latonería como aquellas en las cuales la entidad permanece mayor porcentaje de tiempo comparándola con los otros centros de trabajo lo cual permite inferir que esta corresponde a las entidades más influyentes y cuello de botella del proceso de reparación de automóviles.

Por consiguiente, los centros de trabajo de latonería y preparación que poseen la mayor ocupación tienen aún un margen de capacidad disponible para aprovechar, mientras los otros centros de trabajo poseen amplio margen de disponibilidad de capacidad para aprovechar, por lo cual, se debería analizar, con el objetivo de obtener una mejor decisión, todas las entidades que puedan ingresar y asignarles toda la capacidad disponible.

Según los porcentajes de ocupación de las colas se puede afirmar que la capacidad asignada es más que suficiente para el manejo de este tipo de entidad al interior del taller, por lo cual se podría disminuir dicha capacidad y asignarle estos espacios a otras entidades o diferentes usos que lo requieran; principalmente a la cola de llegada cuyo porcentaje de ocupación es del 0% y la cola de latonería con 4.11%.

Bajo las consideraciones de capacidad hechas con anterioridad se observa que los porcentajes de parada de las locaciones son altos, esto corresponde principalmente al tiempo que se le ingreso al sistema con el ánimo de simular el uso de dicha locación para el procesamiento de otras entidades no simuladas.

El recurso pintor cuenta con un porcentaje de ocupación alto comparado con su disponibilidad de 40%, con una capacidad disponible sin aprovechar casi nula, considerando los tiempos de parada, esto ratifica el gran uso de la locación de preparación, y tiene como causante fundamental la necesidad del recurso por parte de dos locaciones.

En cuanto a las entidades el Twingo choque frontal medio tiene un promedio de 2142.79 minutos de atención que corresponde a 5.9 días hábiles de trabajo, mientras el Twingo choque frontal fuerte con un promedio de 2910.87 minutos de atención aproximadamente 8.08 días hábiles de trabajo. Ambas entidades poseen altos porcentajes de operación sobre el total del tiempo en el sistema, lo cual se explica en los bajos tiempos de transporte entre locaciones y el exceso de capacidad disponible dentro de la tasa asignada para esta entidad.

En el modelo no ocurren arribos fallidos lo cual es vital para este tipo de empresas en la que se tiene como llegadas un cliente; se hace fundamental que en la cola de llegada y recepción halla disponibilidad para siempre estar en capacidad de atender al cliente y recibirle su vehículo, de tal forma que no se desaproveche la oportunidad de prestar el servicio de reparación y generar ganancias para la empresa.

Por último se obtiene un valor de gran importancia para la empresa y es el número de vehículos facturados o reparados en el periodo de tres meses hábiles; con la salida de 9 Twingos que ingresaron con choque medio, y 7 con choque, que representaría 3 con choque medio por mes y 2 con coque fuerte.

Al realizar el análisis de sensibilidad al modelo desarrollado, se plantearon las siguientes alternativas de solución:

- Disminución en el tiempo de autorización por parte de las compañías aseguradoras.
- Disminuir en una unidad la capacidad de cada una de las colas que se incluyen en el modelo, donde la cola de llegadas quedaría con capacidad de dos, mientras la de autorización y de latonería tan solo con capacidad de uno.
- Disminución del tiempo de aseo y lavado a la mitad del actual

Lo cual permitió mejorar los resultados del modelo.

## CONCLUSIONES

Entre las principales conclusiones del trabajo desarrollado se tienen las siguientes:

- Se pudieron definir los pasos a través de los cuales es posible establecer los parámetros de un modelo respecto a las variables exógenas, endógenas y de estado, las cuales están relacionadas con las necesidades específicas del cliente.
- Durante la búsqueda y definición de los parámetros y pasos para construir la guía metodológica de simulación, se encontraron varios factores que sobresalen por la dificultad de ser encontrados en la literatura, como lo son el diseño experimental, el análisis de resultados y los elementos de gestión aplicada a la simulación.
- Realizar un modelo de simulación exitoso en la toma de decisiones, estudio de sistemas, análisis de alternativas y optimización de procesos, depende de la vinculación que logre el equipo del proyecto con todo el personal de la empresa en todos los niveles de jerarquía y la participación de todos para construir un modelo efectivo.
- La metodología propuesta presenta un procedimiento para llevar a cabo un estudio de simulación de forma ordenada, estructurada y sistémica enmarcada en el ciclo PHVA, exaltando las reglas generales que se deben tener en cuenta en el momento de realizar un proyecto que incluye a la simulación como herramienta para solucionar problemas presentes en una empresa.
- La estructura general de la metodología aborda diferentes temáticas vinculadas al campo de la ingeniería industrial, lo que la hace perfectamente aplicable tanto en el medio empresarial como en el ámbito académico.

## REFERENCIAS

- [1] (Aspray y Newman, 1990). Aspray, William. John Von Neumann and the origins of modern computing. Massachusetts. The MIT Press. p. 110-113.
- [2] (Abu-Taieh Y Rahman, 2010). Abu-Taieh, Evon M. and Rahman El Sheikh, Asim Abdel. Handbook of Research on Discrete Event Simulation Environments: Technologies and Applications. New York. Information Science Reference. p. 1.
- [3] Pymes de Colombia están atrasadas. En: El diario. (20, Marzo, 2009) <disponible en: <http://www.eldiario.com.co/seccion/ECONOMICA/pymes-de-colombia-est-n-atrasadas090319.html>> [consultada: 1 Abril, 2010]
- [4] (Coss Bu, 2003), Coss Bu, Raúl. Simulación, un enfoque práctico. Editorial Limusa. Primera Edición. México DF. 2003. P. 11 y 12.
- [5] (Dunna, García Y Cárdenas, 2006). Dunna García, Eduardo. García Reyes, Eduardo y Cárdenas Barrón, Leopoldo E. Simulación y análisis de sistemas con Promodel®. Pearson. Primera edición. 2006. p.2-7.
- [6] (Chung, 2004) CHUNG, Christopher A. Simulation Modeling Handbook, a practical approach. CRC Press. Boca Raton, FL. 2004. P3-20.

- [7] (Blanco y Fajardo, 2004) BLACO, Luis Ernesto y FAJARDO, Iván Darío. Simulación con ProModel®; Casos de producción y logística. Editorial Escuela Colombiana de Ingenieros. Bogotá. 2004. P.7-16.
- [8] (Banks, 2010) BANKS, Jerry. Handbook of Simulation, principles, methodology, advances, applications and practice. Engineering & Management Press. Toronto. 1998. P.721-745.esas, PP 208-245.
- [9] FASES QUE COMPRENDE TODO ESTUDIO QUE UTILIZA LA SIMULACION. En: Sistemas Modelos Y Simulación. Facultad de Ingenierías Universidad de Buenos Aires. 75.26 Simulación [ en línea ] < Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7526/docs/teoria.pdf>> [consulta 25 feb. 2010]
- [10] MURETTI, Efrain. Etapas para realizar un estudio de simulación. En: Simulación de Sistemas. [ en línea ] < Disponible en: [http://members.libreopinion.com/ve/efrain-muretti/simulacion/ss\\_intro.pdf](http://members.libreopinion.com/ve/efrain-muretti/simulacion/ss_intro.pdf)> [consulta 25 feb. 2010]