

# Modelo de simulación híbrido de una cadena logística simple empleando tecnología GIS

Giraldo Jaime, Phd<sup>1</sup>, Castrillon Omar, Phd<sup>2</sup>, Ruiz Santiago, Phd<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia, jaiagiraldog@unal.edu.co, <sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Colombia, odcastrillong@unal.edu.co, <sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia, Colombia, sruizhe@unal.edu.co

**Resumen—** Se presenta un modelo de simulación como plataforma de experimentación de la operación de una cadena logística de fabricación/distribución de pequeña escala, dirigida especialmente a estudiantes y profesionales involucrados en su planeación, diseño y operación. Se espera que el uso del modelo permita a estos evaluar el desempeño de diversos escenarios que se presentan en el mundo real y analizar diferentes situaciones permitiendo el desarrollo de habilidades y competencias para la toma de decisiones. Es de connotar en la construcción del modelo, el empleo conjunto de los métodos: simulación basada en agentes y por eventos discretos, además del uso de tecnología GIS.

**Keywords—** Simulación, Logística, GIS, Toma de decisiones.

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo es simular la operación logística involucrada en la producción y transporte de pedidos de productos solicitados por clientes dispersos geográficamente en una región. La cadena consta de un centro de producción/distribución ubicado en determinadas coordenadas geográficas, una flota de pequeños camiones (camionetas) disponibles para el transporte de los pedidos y un conjunto de clientes, ubicado cada uno según unas coordenadas geográficas específicas. La complejidad en el aprendizaje sobre la gestión de este tipo de sistemas está dada por la presencia de incertidumbre en: la cantidad pedida, cliente que hará el siguiente pedido, los tiempos entre pedidos, las velocidades de desplazamiento de los camiones, los posibles mantenimientos preventivos y por fallos de estos últimos y el movimiento a través de carreteras con cierto nivel de tráfico.

Es claro que la gestión de esta incertidumbre origina cierto nivel de riesgo que no puede ser modelado satisfactoriamente con matemática analítica [1]. De hecho, y según [2] el análisis cuantitativo del riesgo es la práctica de crear un modelo matemático de un proceso que explícitamente incluye parámetros de incertidumbre que no pueden ser controlados y variables de decisión que pueden ser controladas. Es claro que en la cadena descrita se puede dar el riesgo de no entregar a tiempo el pedido y la consiguiente pérdida económica por penalización y quizás pérdida de clientes, entre otros. Por tanto, se espera que un modelo cuantitativo de gestión del riesgo calcule el impacto de parámetros inciertos en el desempeño de un sistema.

Para [3], “El modelado de sistemas reales cuyo desempeño depende en gran medida de parámetros aleatorios, como la demanda o el tiempo de servicio, es hoy un amplio campo de investigación, tanto para los desarrollos teóricos como para las aplicaciones”. Una técnica bien

conocida de modelado de sistemas lo constituye la simulación, la cual según [4] permite imitar la operación de varias clases de instalaciones y procesos del mundo real. La instalación o proceso de interés usualmente es llamado sistema, y en pro de estudiarlo, a menudo se establece un conjunto de suposiciones de cómo opera. Estas suposiciones usualmente toman la forma de relaciones matemáticas y lógicas constituyendo lo que se denomina un modelo (con cierto nivel de abstracción) que es usado para intentar obtener algún entendimiento sobre como el correspondiente sistema se comporta a través del tiempo. Para [5], al imitar la operación de un sistema real, la simulación genera una historia artificial del sistema y su observación permite inferir lo concerniente a las características de operación/desempeño del mismo.

En [6] consideran que el modelamiento moderno con simulación usa tres métodos: por eventos discretos, basado en agentes y dinámica de sistemas. Como se muestra en la Fig. 1, cada método sirve a un específico rango de niveles de abstracción. En Dinámica de Sistemas (SD) se asume una muy alta abstracción y es típicamente usado para modelamiento estratégico. El método de Modelamiento por Eventos Discretos (DE) soporta abstracción en el nivel medio y medio-bajo, mientras que la Simulación Basada en Agentes (AB) puede variar desde modelos detallados en los cuales los agentes representan objetos físicos a modelos de alta abstracción en donde los agentes incluso representan empresas.

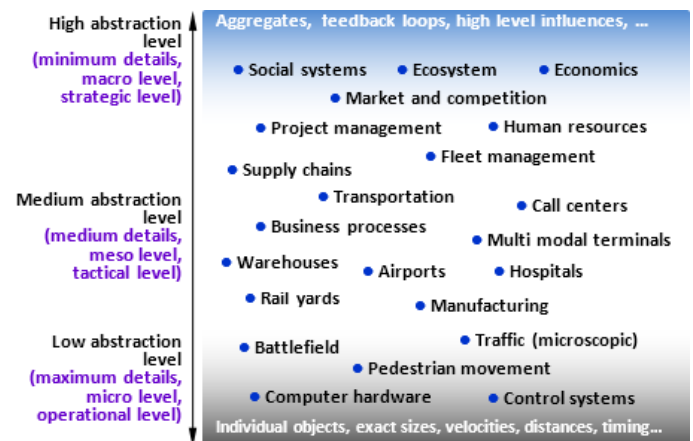


Fig. 1 Aplicaciones de la simulación según nivel de abstracción. Fuente: [6].

En [7] se considera que la mejor manera de modelar diferentes partes de un sistema es usar simultáneamente varios

# Hybrid simulation model of a simple logistics chain using GIS technology

Giraldo Jaime, Phd<sup>1</sup>, Castrillon Omar, Phd<sup>2</sup>, Ruiz Santiago, Phd<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia, jaiagiraldog@unal.edu.co, <sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Colombia, odcastrillong@unal.edu.co, <sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia, Colombia, sruizhe@unal.edu.co

**Abstract**— *A simulation model is presented as an experimentation platform for the operation of a small scale manufacturing / distribution logistics chain, aimed especially at students and professionals involved in its planning, design and operation. It is expected that the use of the model allows them to evaluate the performance of different scenarios that are presented in the real world and analyze different situations allowing the development of skills and competencies for decision making. It is of connoting in the construction of the model, the joint use of the methods: simulation based on agents and discrete events, besides the use of GIS technology.*

**Keywords**— *Simulation, Logistics, GIS, Decision making*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.125>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

de los métodos descritos (modelo híbrido), sugiriendo que se debe seleccionar el(os) método(s) después de cuidadosamente considerar el sistema a modelar y los objetivos del estudio a realizar con simulación.

De otro lado, algunos paquetes de simulación (por ejemplo *AnyLogic* proporcionan un constructo de modelamiento llamado Mapa GIS (*Geographical Information System*) el cual les permite a los usuarios exponer y manejar el mapa de la tierra en su modelo de simulación. Los mapas GIS son frecuentemente usados para definir el espacio en modelos basados en agentes. El tipo de espacio GIS permite colocar agentes en un espacio geoespacial cuyo soporte incluye la facilidad de establecer y recuperar la localización actual de un agente, mover el agente con la velocidad especificada desde un lugar a otro a través de rutas existentes (vías reales), ejecutar alguna acción al arribo de un agente y otros servicios útiles. La implementación usada por *AnyLogic* es basada en *OpenMap* la cual es una herramienta de visualización geoespacial. En términos geoespaciales, una proyección es la translación entre un modelo esférico de la tierra a una superficie plana en dos dimensiones. Específicamente en *OpenMap*, las proyecciones son componentes que manejan las translaciones entre coordenadas de latitud y longitud en puntos de la pantalla de un computador. Es conveniente señalar que *OpenMap* asume que las coordenadas de latitud y longitud son definidas en términos de *Datum WGS 84*.

Finalmente se debe señalar que el objetivo de un modelo de simulación es imitar el comportamiento del sistema modelado a fin de estudiar bajo que parámetros y sus niveles de operación se obtiene un mejor desempeño. En términos de teoría de decisión los parámetros equivalen a las variables de decisión y el desempeño con las variables respuesta de interés, también llamados KPI (*Key Performance Indicators*). En [3] se utilizan escenarios de experimentación que incluyen algunas variables de decisión típicas de una cadena simple de gestión logística de alistamiento y transporte de materias primas, al igual que algunos KPI de interés particular. Se considera que un escenario es un conjunto dado de valores de las variables de decisión establecidos por el usuario. El uso de escenarios permite hacer análisis “que tal si...” sin cambiar directamente el modelo. Igualmente, el uso de escenarios puede ayudar a otros usuarios a emplear un modelo sin que tengan experiencia usando la lógica del modelo. Específicamente en los paquetes de simulación *AnyLogic*, *FlexSim* y *ProModel* se ofrece al usuario la funcionalidad de efectuar la experimentación con el modelo empleando escenarios a un número dado de réplicas, lo que facilita al usuario centrarse en el modelo de decisión.

## II. EL MODELO DE SIMULACION

En razón a que el paquete de simulación *AnyLogic* ofrece la funcionalidad de desarrollar modelos híbridos, además de ofrecer soporte GIS, se ha seleccionado como la plataforma de desarrollo del modelo. Es importante mencionar que se ha

utilizado la versión académica denominada *PLE (Personal Learning Edition)* dada su libre descarga y amigable al usuario al ofrecer una ayuda basada en tutoriales de fácil comprensión.

### A. Submodelo por eventos discretos (DE)

A fin de modelar el procesamiento de cada pedido de cliente, desde que se solicita hasta que se entrega, se emplearon los constructos de modelamiento ofrecidos por la librería de procesos (DE). En la Fig. 2 se muestra una representación grafica del submodelo DE. Se parte de un pedido solicitado por el agente *Cliente\_Detallista* (ver submodelo AB más adelante), luego se encola según una disciplina FIFO, seguidamente se fabrica (procesamiento), se asigna un recurso camión para el transporte y finalmente se entrega con la consiguiente liberación del recurso. Como se observa en la figura es posible que se descarte la fabricación del pedido si el tiempo de espera supera un límite previamente establecido por el usuario del modelo. Este último valor se pasa al submodelo DE como un parámetro desde el agente *Main* (ver submodelo AB más adelante).

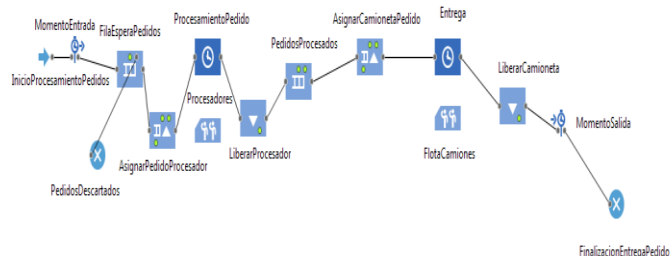


Fig. 2 Representación gráfica del submodelo por eventos discretos DE.

Con el fin de ilustrar el código asociado a los constructos mostrados en la Fig. 2, se muestra el asociado al constructo *Procesamiento\_Pedido* en la Fig. 3. Este constructo se denomina *Delay* y tiene como función simular un tiempo de proceso, como por ejemplo el tiempo para fabricar una unidad de producto. Para el caso específico de la Fig. 3, dicho tiempo sigue una distribución de probabilidad uniforme, cuyos parámetros de mínimo y máximo son pasados desde el agente *Main*. Este tiempo de proceso muestreado se multiplica por la cantidad de productos solicitada en el respectivo pedido. Igualmente, la capacidad del procesador se pasa desde el agente *Main* mediante el parámetro *Cantidad\_Procesadores*.

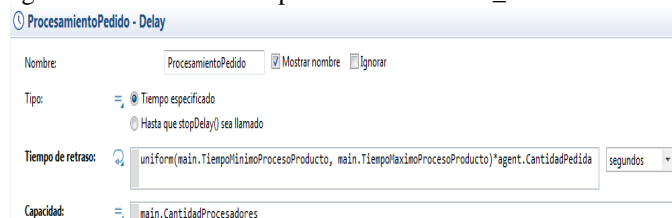


Fig. 3 Código asociado a constructo *Delay* en el submodelo DE

### B. Submodelo por agentes (AB)

**Digital Object Identifier:** (to be inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

En la plataforma de desarrollo empleada es posible modelar un tipo especial de agente denominado *Main*, desde el cual se puede controlar las interacciones entre agentes. Para el caso de la cadena logística simple se ha modelado además los siguientes agentes en particular: *Empresa\_XYZ* (agente que fabrica), *Camioneta* (agente que transporta), *Cliente\_Detallista* (agente que genera ordenes de pedido) y *Pedido\_Cliente* (agente que describe cual cliente pide y la cantidad pedida). Se describe cada uno de ellos a continuación:

- **Agente *Main***

Este es el agente por defecto al crear un nuevo modelo en *AnyLogic*. Dado que la cadena logística opera sobre un área geográfica específica, se emplea el agente *Main* para representar el espacio geográfico en el cual interactúan los demás agentes. Para modelar este espacio se utilizó desde la librería *Space Markup* el constructo de modelamiento *GIS Map* con el fin de representar un área específica del mapamundi, que para el caso de experimentación se seleccionó la región centro-occidente de Colombia, como se muestra en la Fig. 4. Se espera que en dicho agente “residan” e interactúen los demás agentes. Dado que el modelo se generalizó para representar cualquier área geográfica, se explicará más adelante (sección de experimentación) como se parametrizan por parte del usuario las coordenadas geográficas del área sobre la cual se desea simular la cadena logística. Igualmente, desde este agente se establecen otros parámetros (variables de decisión) de operación de los demás agentes del modelo a fin de simular sus interacciones.

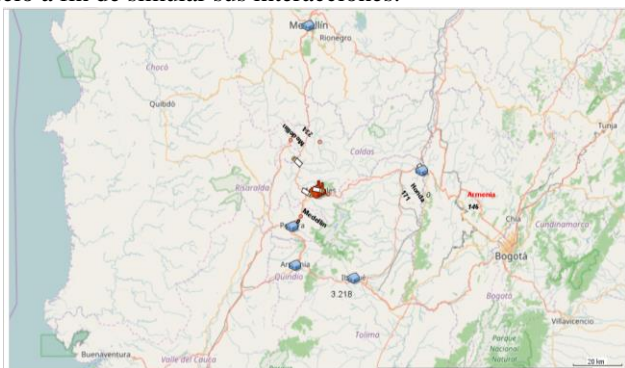


Fig. 4 Representación grafica del agente *main* en el submodelo AB

- **Agente *Cliente\_Detallista***

Mediante este agente se representa cada uno de los clientes en la cadena logística. Se modela como un tipo de agente cuya población (instancias del agente) se crea al momento de simular el modelo. Las coordenadas de la posición geográfica (en coordenadas de latitud y longitud) de cada uno de los clientes involucrados en la cadena logística las configura el usuario desde un archivo en Excel. En la Fig. 4 los clientes se muestran gráficamente como edificaciones en color azul. Igualmente para este agente se modela el evento *Generar\_Pedido* a fin de representar la interacción de solicitar

productos al agente que fabrica. El código asociado al evento se muestra en la Fig. 5, en el cual se define que dicho evento se desencadena cíclicamente (distribuido uniformemente) cada que transcurre un tiempo entre un mínimo y un máximo de días, siendo estos últimos valores pasados desde el agente *Main*. El evento genera como acción una nueva orden de pedido en términos de cantidad pedida y cliente. Los datos de la orden se envían al agente *Empresa\_XYZ* cuya funcionalidad se describe a continuación.

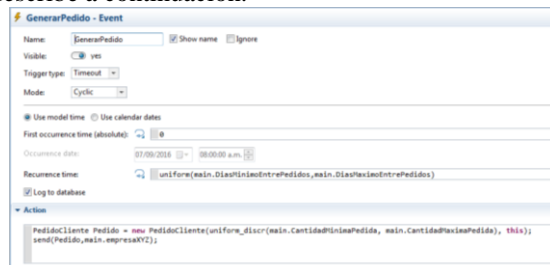


Fig. 5 Código asociado a constructo *Event* en el agente *Cliente\_Detallista*

- **Agente *Empresa\_XYZ***

Representa al fabricante en la cadena logística. Se modela como un solo agente (una instancia del agente). Igualmente las coordenadas de la posición geográfica (en coordenadas de latitud y longitud) las configura el usuario desde un archivo en Excel. En la Fig. 4 el fabricante se muestra gráficamente como una edificación en color rojo. La lógica interna de procesamiento de este agente se muestra en la Fig. 2. La interacción de este agente con los clientes se da a través del agente denominado *Pedido\_Cliente* y *Camioneta* los cuales se describen a continuación.

- **Agente *Pedido\_Cliente***

Representa cada uno de los pedidos hechos por los clientes al fabricante. Para cada pedido se originan dos datos: cantidad pedida y cliente que pide. El pedido se origina eventualmente desde el agente *Cliente\_Detallista* según se ilustra en la Fig. 5. La cantidad pedida se encuentra delimitada entre un valor mínimo y máximo. Estos últimos valores son pasados desde el agente *Main* y proporcionados por el usuario del modelo según se explica más adelante.

- **Agente *Camioneta***

Representa cada uno de los vehículos que utiliza el fabricante para transportar los pedidos a los clientes y cuyo espacio de desplazamiento ocurre en un ambiente GIS (ver Fig. 4). La capacidad de la flota de transporte se encuentra delimitada entre un valor mínimo y máximo y cuyos valores son pasados desde el agente *Main* y proporcionados por el usuario del modelo. Dicha flota de camiones es empleada como recurso desde el sub modelo de simulación discreta (ver Fig. 2) para realizar las entregas a los clientes. El comportamiento principal de este tipo de agente es controlado

mediante el diagrama de estados mostrado en la Fig. 6. Según este diagrama el estado inicial de cada camión es parqueado en la fábrica (estado *En Fabrica*) en las mismas coordenadas GIS del agente Empresa\_XYZ. Desde este último agente se envía un mensaje al agente *Camioneta* cuando hay un pedido listo para transportarse a un cliente específico (ver bloque *AsignarCamionetaPedido* en Fig. 2). Cuando este mensaje se recibe por parte de un agente *Camioneta*, (que esté disponible) se origina la transición hacia el estado *Trámite Administrativo*, el cual tiene una duración en tiempo (igual que los estados *Cargando* y *Descargando*). Los estados *ViajandoAlDetallista* y *ViajandoAlFabricante* terminan cuando la *Camioneta* arriba al agente *Cliente\_Detallista* y al agente *Empresa\_XYZ*, respectivamente.

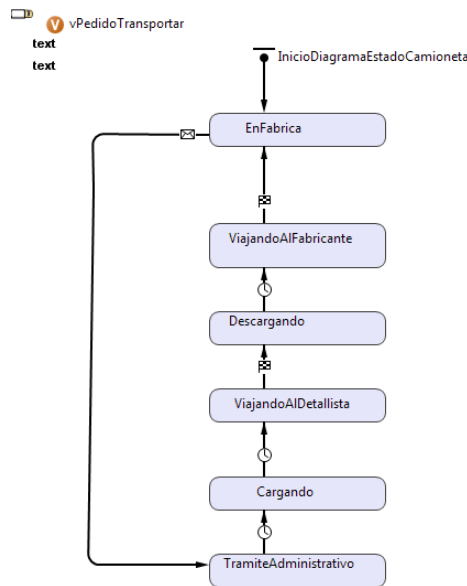


Fig. 6 Diagrama de estados para el agente *Camioneta*

### III. EL MODELO DE DECISION LOGISTICA

La expresión (1) denota el modelo lógico-matemático representado a través de la simulación. En este los niveles de las  $m$  variables de respuesta o medidas de desempeño ( $y_j$ ) dependen de las relaciones lógicas de las  $n_i$  variables de decisión ( $x_{i,j}$ ) descritas por la función  $f_j(x_{i,j})$ .

$$y_j = f_j(x_{i,j}) \text{ donde } 1 \leq i \leq n_j; 1 \leq j \leq m \quad (1)$$

Es claro que el modelo de simulación desarrollado hace el papel de la función  $f_j$  que permite obtener los  $y_j$  a partir de las entradas  $x_{i,j}$ . Igualmente se deja a criterio de los usuarios del modelo cuales variables de decisión  $x_i$  considera que impactan la respectiva medida de desempeño  $y_j$ .

Para el caso de la cadena logística representada, en las Tablas I y II, se muestran (entre otros) los indicadores clave de desempeño (KPI) y variables de decisión (VD) considerados

por el modelo de simulación descrito. Los KPI básicamente miden el desempeño del sistema en términos de nivel de atención a los clientes (pedidos). Las VD consideradas comprenden aspectos relacionados con: demanda, procesamiento de pedidos, tiempos de cargue/descargue y equipo de transporte.

El objetivo central del modelo de simulación es permitir al usuario (estudiante de logística o profesional en entrenamiento) establecer ciertos niveles de las VD a fin de evaluar el desempeño del sistema en términos de algunos KPI de interés, con el fin de entrenarse en toma de decisiones logísticas mediante una herramienta virtual.

TABLA I  
INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI)

$y_j$	Descripción
$y_1$	Pedidos por procesar
$y_2$	Pedidos por transportar
$y_3$	Pedidos entregados
$y_4$	Pedidos cancelados por el cliente
$y_5$	Tiempo promedio en el sistema
$y_6$	Tiempo promedio de transporte

TABLA II  
VARIABLES DE DECISION (VD)

$x_i$	Descripción	Niveles permitidos (medida)
$x_1$	Tamaño del pedido	Entre 50 y 900 (Unidad)
$x_2$	Tiempo entre pedidos	1 y 72 (Horas)
$x_3$	Número de procesadores	Entre 1 y 50 (Unidad)
$x_4$	Tiempo de proceso	Entre 1 y 600 (Segundo)
$x_5$	Número de vehículos	Entre 1 y 50 (Unidad)
$x_6$	Velocidad vehículo	Entre 10 y 120 (Km/Hora)
$x_7$	Tiempo entre fallos vehículo	Entre 7 y 180 (Hora)
$x_8$	Tiempo reparación vehículo	Entre 1 y 72 (Hora)
$x_9$	Tiempo de cargue	Entre 1 y 80 (Minuto)
$x_{10}$	Tiempo de descargue	Entre 1 y 80 (Minuto)
$x_{11}$	Tiempo cancelacion pedido	Entre 1 y 96 (Hora)

### IV. EXPERIMENTACION CON EL MODELO

Con el fin de mostrar el funcionamiento del modelo se ha considerado una cadena logística simple, caracterizada por:

1) Una topología tipo estrella que consta de 1 fabricante que distribuye directamente sus productos a un número dado de clientes dispersos geográficamente. En la Fig. 4 se representa al fabricante mediante una edificación roja y a cada uno de los clientes mediante una azul. Dicha figura representa el área geográfica en la cual opera la cadena logística. Esta área la

determina automáticamente el modelo de simulación a partir de las coordenadas geográficas de cada uno de los agentes (fabricante y clientes) proporcionadas por el usuario a través de una hoja electrónica MS-Excel, según se muestra en la Fig. 7.

	A	B	C
1	Nombre	Longitud	Latitud
2	Armenia	-75,6724	4,5363
3	Pereira	-75,6946	4,8143
4	Ibague	-75,2411	4,4436
5	Honda	-74,7361	5,2106
6	Medellin	-75,5736	6,2443
7	Cali	-76,5113	3,4319

Fig. 7 Coordenadas geográficas de ubicación de los clientes

2) Comportamiento incierto en cantidad y tiempo de la demanda de los clientes. A través de la interfaz ofrecida por el modelo de simulación, el usuario proporciona la cantidad pedida de producto variando entre un mínimo y un máximo a fin de simularla según una distribución de probabilidad uniforme. Igualmente se solicita el tiempo entre pedidos según se muestra en la Fig. 8.

### Demanda

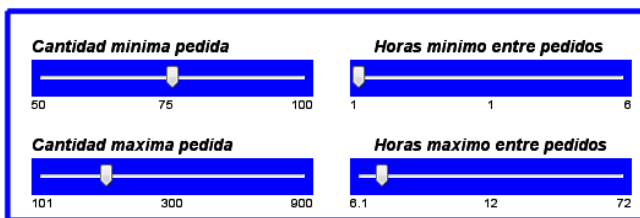


Fig. 8 Parámetros de comportamiento de la demanda en tiempo y cantidad

3) Tiempos inciertos de procesamiento/embalaje. A través de la interfaz ofrecida por el modelo de simulación, el usuario proporciona el tiempo de proceso unitario variando entre un mínimo y un máximo a fin de simularlo según una distribución de probabilidad uniforme. Igualmente se solicita el número de procesadores (maquinas u operarios) y el máximo tiempo transcurrido que considera el cliente para cancelar su pedido, según se muestra en la Fig. 9.

### Produccion/Embalaje



Fig. 9 Parámetros de comportamiento del procesamiento de pedidos en tiempo y número de procesadores

4) Velocidad de desplazamiento, tiempos entre fallos y de reparación inciertos del equipo de transporte. A través de la interfaz mencionada el usuario proporciona estos parámetros a fin de simularlos según una distribución de probabilidad triangular, además del número de vehículos que se quiere emplear en la simulación (ver Fig. 10).

### Equipo de transporte

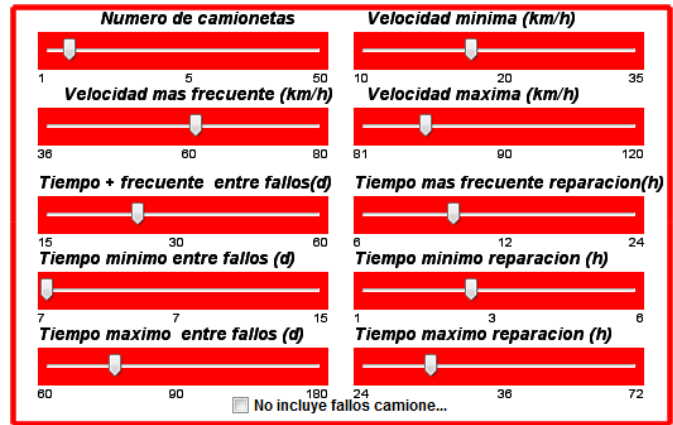
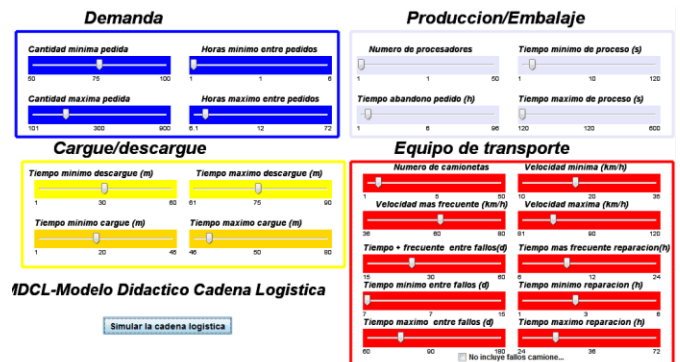


Fig. 10 Parámetros de comportamiento del equipo de transporte

5) Tiempos inciertos de carga/descarga. En la Fig. 11 se muestra la interfaz completa, incluyendo estos tiempos (color amarillo) para ser simulados según una distribución de probabilidad uniforme.



IDCL-Modelo Didactico Cadena Logistica

Simular la cadena logistica

Fig. 11 Interfaz Usuario-Modelo de Simulación

Como se puede inferir de lo anteriormente expuesto, es posible experimentar muy diversos escenarios de operación de la cadena logística mediante el modelo de simulación desarrollado. Se puede definir cada escenario según los niveles o valores dados a las variables de decisión, incluyendo entre estas últimas la ubicación geográfica tanto del fabricante/distribuidor como de los clientes. La evaluación de cual escenario de operación dado es el apropiado, puede ser realizada por el usuario mediante comparación de uno o más KPI mostrados en la Tabla I. A efectos de demostración, en la Tabla III se muestran los valores de las variables de decisión para un escenario que considera una demanda que fluctúa con

tamaños de pedidos entre 75 y 815 unidades de producto y tiempos entre pedidos de 2 y 12 horas. Igualmente se consideraron las coordenadas geográficas de los clientes mostradas en la Fig. 7.

TABLA III  
NIVEL VARIABLES DE DECISIÓN PARA UN ESCENARIO DADO

$x_i$	Descripción	Niveles permitidos
$x_1$	Tamaño del pedido	Entre 75 y 815 unidades
$x_2$	Tiempo entre pedidos	Entre 2 y 12 horas
$x_3$	Número de procesadores	2
$x_4$	Tiempo de proceso	Entre 60 y 170 segundos
$x_5$	Número de vehículos	3
$x_6$	Velocidad vehículo	Entre 20 y 90, siendo más probable 60 km/hora
$x_7$	Tiempo entre fallos vehículo	Entre 7 y 90, siendo más probable 30 horas
$x_8$	Tiempo reparación vehículo	Entre 3 y 36, siendo más probable 12 horas
$x_9$	Tiempo de cargue	Entre 1 y 80 minutos
$x_{10}$	Tiempo de descargue	Entre 1 y 80 minutos
$x_{11}$	Tiempo cancelación pedido	Después de transcurridas 24 horas

Se realizó una simulación con una longitud de corrida de 1 mes a 1 replica, a fin de mostrar al lector el comportamiento dinámico de la cadena logística, con los siguientes resultados:

1) Resultados parciales: En cualquier momento (por ejemplo comienzo del día 3) de la simulación el usuario puede ver el comportamiento de la cadena logística e indicadores de desempeño, como se ilustra en las Fig. 12 a 17.

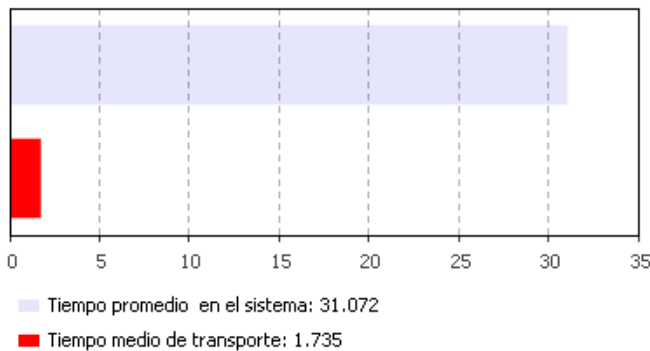


Fig. 12 Nivel actual de las medidas de desempeño  $y_5, y_6$

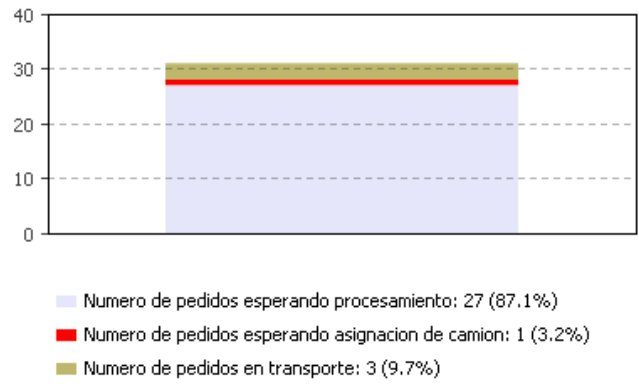


Fig. 13 Estado actual de los pedidos en la cadena

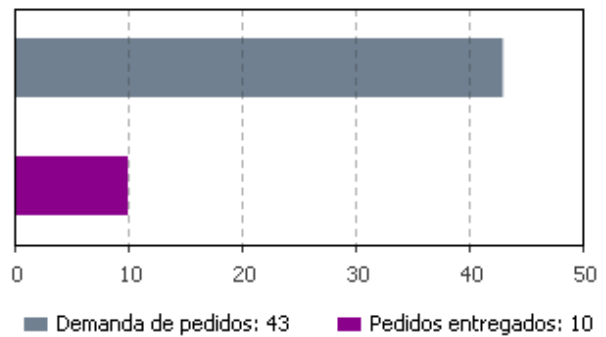


Fig. 14 Demanda de pedidos vs pedidos entregados

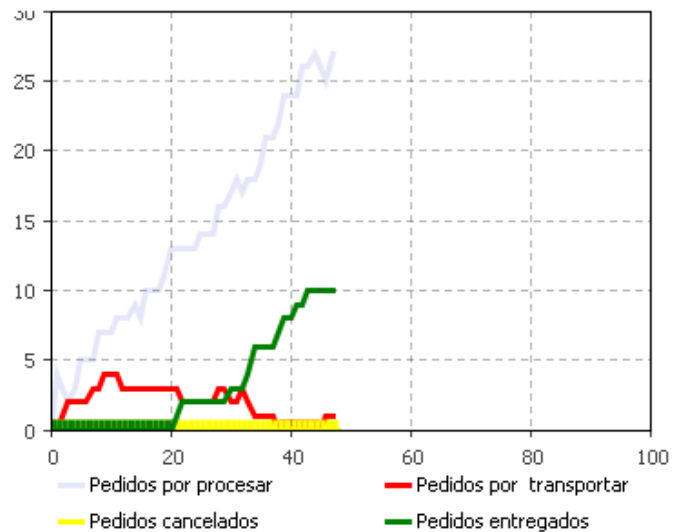
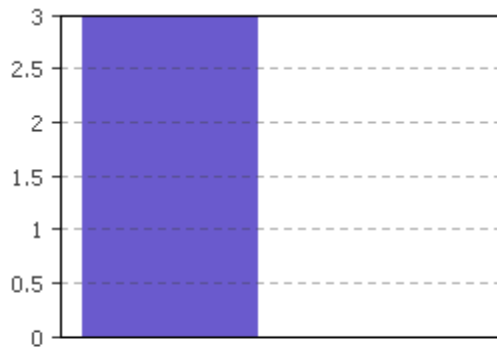


Fig. 15 Nivel actual de las medidas de desempeño  $y_1, y_2, y_3, y_4$



■ Numero camionetas usadas: 3  
 ■ Numero camionetas no usadas: 0

Fig. 16 Uso actual del equipo de transporte

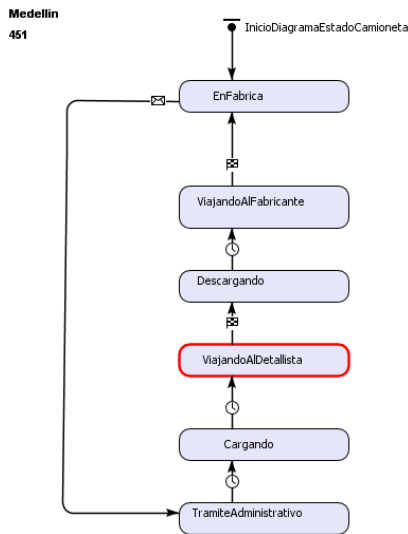


Fig. 17 Estado actual de vehículo que debe entregar un pedido de 451 productos en la ciudad de Medellín

2) Resultados finales: Al finalizar el mes de simulación se tienen los siguientes indicadores de desempeño, como se ilustra en las Fig. 18 a 20.

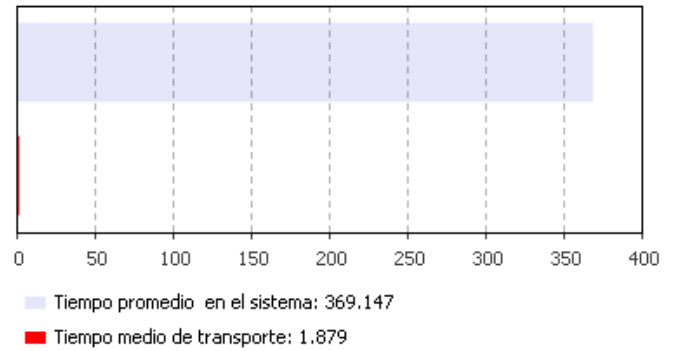


Fig. 18 Nivel final de las medidas de desempeño  $y_5, y_6$

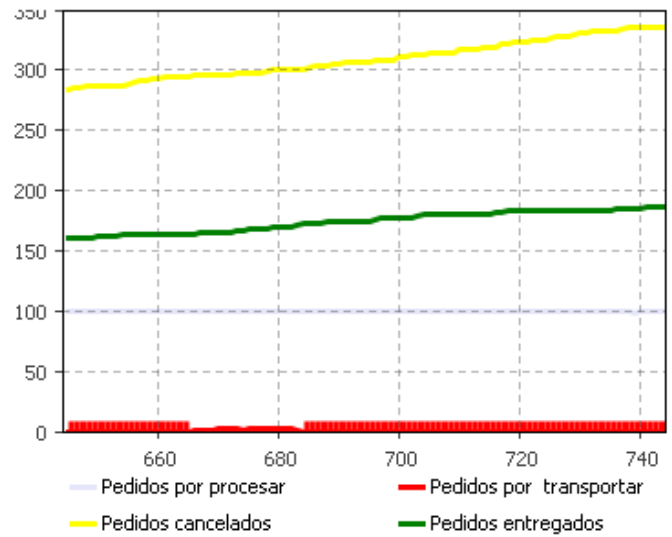
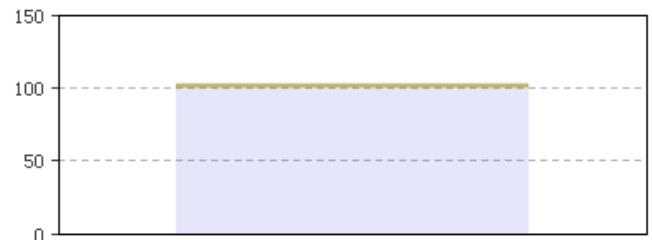


Fig. 19 Nivel final de las medidas de desempeño  $y_1, y_2, y_3, y_4$



■ Numero de pedidos esperando procesamiento: 100 (97.1%)  
 ■ Numero de pedidos esperando asignacion de camion: 0 (0.0%)  
 ■ Numero de pedidos en transporte: 3 (2.9%)

Fig. 20 Estado final de los pedidos en la cadena

### REFERENCIAS

[1] Kelton, W. D., y Law, A. M.; *Simulation Modeling and Analysis* 3rd Ed. McGraw-Hill, (2007)  
 [2] Solver, Inc., "Montecarlo Simulation Tutorial," consultado desde <https://www.solver.com/monte-carlo-simulation-example>, Enero 2018.



- [3] Ivanov D.; “*Operations and Supply Chain Simulation with AnyLogic*,” 3<sup>a</sup> Edición, disponible en: <https://www.anylogic.com/resources/books/operations-and-supply-chain-simulation-with-anylogic/>, consultado en 2017.
- [4] Giraldo, J. A; “Simulación de Sistemas de Produccion y de Servicios” Manizales: Editorial Tizan, 1<sup>a</sup> Edición, (2014).
- [5] Banks J., Carson, J., Barry, L. N., Nicol, D.; *Discrete-Event System Simulation*., 4a Edicion, Prentice Hall, Nueva York, (2009)
- [6] Grigoryev I.; “*AnyLogic in Three Days: a Quick Course in Simulation Modeling*,” 3<sup>a</sup> Edicion, disponible en: <https://www.anylogic.com/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>, consultado en 2017
- [7] Borshchev A; “*The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6*,” 2013.

[3] GUERRERO HERNANDEZ, María Alejandra; ENRIQUES LIBRANTZ, André Felipe. Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. Ingeniare. Rev. chil. ing., Arica , v. 22, n. 2, p. 257-262, abr. 2014.

