



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA MAYORISTA**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR: Madrid Varela, Jesús Gabriel

Moller Corral, Christian

PROFESOR GUÍA: Ing. Rafael Díaz

FECHA: Junio 2017

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA MAYORISTA**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su
contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Firma:

Firma:

Firma:

Nombre:_____

Nombre:_____

Nombre:_____

REALIZADO POR: Madrid Varela, Jesús Gabriel

Moller Corral, Christian

PROFESOR GUÍA: Ing. Rafael Díaz

FECHA: Junio 2017

SINOPSIS

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una propuesta de mejora para el sistema de distribución de una empresa comercializadora mayorista, utilizando la simulación como herramienta fundamental de diseño experimental.

Se realizó la construcción de un modelo de simulación con la herramienta informática *Anylogic* 8.0.2. Este modelo representa el proceso de distribución, desde la emisión de un pedido hasta su entrega al cliente correspondiente. Se utilizó un método combinado de simulación basada en agentes y simulación de eventos discretos, que representa las operaciones de distribución de la empresa y los agentes que participan en este eslabón de la cadena de suministros: clientes, centros de distribución y flota de vehículos. El modelo comprende el uso de una herramienta de ubicación geoespacial que permite la interacción entre los agentes y su ambiente geográfico, lo cual hace posible la simulación de la distribución a través de rutas reales de tránsito terrestre.

Mediante la variación de los parámetros fundamentales del sistema como la cantidad y ubicación de centros de distribución, número de vehículos de la flota para despachos y el incremento o disminución de la frecuencia de generación de pedidos, se evaluaron diferentes escenarios experimentales.

La utilización de indicadores clave del rendimiento del sistema, como el número de entregas con retrasos, los costos generados por retrasos, el tiempo promedio de entrega y los valores de utilización de la flota de vehículos; permitieron identificar diferentes escenarios con resultados de mejoras significativas en las operaciones de la empresa.

Como resultado de la investigación se logró demostrar que, al incluir un centro de distribución en las regiones de oriente y occidente del país, y asignar dos unidades de vehículo particulares a estos nuevos centros, se pueden eliminar, en su totalidad, los retrasos en las entregas y sus costos asociados.

Palabras clave: Simulación, modelos GIS, distribución, cadena de suministros.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	SECCIÓN INTRODUCTORIA.....	1
I.1	Introducción	1
I.2	Planteamiento del problema	1
I.3	Objetivos de la investigación.....	3
I.3.1	Objetivo general	3
I.3.2	Objetivos específicos.....	3
I.4	Alcance de la investigación	3
I.5	Limitaciones	5
I.6	Antecedentes a la investigación.....	5
I.7	Metodología de la investigación.....	7
I.7.1	Tipo de investigación.....	7
I.7.2	Enfoque de la investigación.....	7
I.7.3	Diseño de la investigación	7
I.7.4	Herramientas utilizadas	8
II.	SECCIÓN CENTRAL.....	8
II.1	Descripción de los procesos operativos del grupo de empresas	8
II.2	Importancia de los retrasos en las entregas	10
II.3	Recopilación y análisis de datos de las variables del modelo de simulación.....	11
II.3.1	Análisis y clasificación AB de clientes	12
II.3.2	Análisis y clasificación AB de los artículos	14
II.3.3	Análisis de datos relacionados con la generación de pedidos	17
II.3.4	Análisis de la distribución probabilística de la velocidad de los vehículos.....	21

II.4	Construcción del modelo de simulación.....	22
II.4.1	Selección del software y el método de simulación	22
II.4.2	Instalación del ambiente GIS del modelo	23
II.4.3	Instalación de los agentes del modelo.....	24
II.4.4	Generación de las órdenes de pedido.....	29
II.4.5	Procesamiento de las órdenes de pedido en el CD.....	32
II.4.6	Entrega de las órdenes de pedido.....	37
II.4.7	Indicadores de rendimiento del sistema de distribución	39
II.4.8	Diseño experimental de la investigación. Parámetros de corrida del modelo de simulación	45
II.5	Análisis de los resultados.....	50
II.5.1	Escenarios con variaciones en la cantidad de vehículos e inclusión de nuevos CD	50
II.5.2	Escenarios con variaciones en la frecuencia de pedidos:	57
III.	SECCIÓN FINAL.....	61
III.1	Conclusiones de la investigación	61
III.1.1	Conclusiones sobre la situación actual de la empresa	61
III.1.2	Conclusiones sobre la incorporación de nuevas unidades a la flota de vehículos.....	61
III.1.3	Conclusiones sobre la instalación de nuevos centros de distribución	62
III.2	Propuesta de mejora del sistema de distribución del grupo de Empresas Cooper.....	66
III.2.1	Primera alternativa de mejora	66
III.2.2	Segunda alternativa de mejora.....	67

III.2.3 Tercera alternativa de mejora.....	67
III.3 Referencias bibliográficas	69
ANEXOS	71
Anexo I: Histogramas de frecuencia relativa para la distribución de probabilidad empírica de la tasa de generación de órdenes de pedido	71
Anexo II: Histogramas de frecuencia relativa para la cantidad de artículos por factura	73
Anexo III: Creación e instalación de Centros de distribución, clientes y artículos en el modelo de simulación	75
Anexo IV: Programación del código de generación de pedidos	79
Anexo V: Programación de la función de separación de pedidos por zona de despacho.....	82
Anexo VI: Programación de la función de selección de vehículos.....	83
Anexo VII: Otras consideraciones del modelo.	84
Anexo VIII: Lista de suposiciones del modelo	86
Anexo IX: Validación del modelo de simulación	88
Anexo X. Tablas de resultados de los escenarios experimentales de la investigación.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano geográfico de trabajo del modelo de simulación.....	24
Ilustración 2. Ubicación geográfica y animación del CD de Charallave.	26
Ilustración 3. Animación de los clientes en el ambiente de simulación.	27
Ilustración 4. Distribución de probabilidad de la frecuencia de pedidos por empresa. De izquierda a derecha: Cooper Welding Electric, Cooper Mascotas y Cooper Diseños y Revestimientos.	30
Ilustración 5. Esquema de procesamiento de las órdenes de pedido en el CD.	33
Ilustración 6. Gráfico de estado de los vehículos de la flota.	37
Ilustración 7. Gráfico de estado de los clientes en el modelo.	40
Ilustración 8. Clientes en estado de "Venta activa" con su animación en color amarillo.	41
Ilustración 9. Visualización de los indicadores de retraso en el modelo.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Ilustración 10. Utilización de la flota de vehículos durante una corrida del modelo.	44
Ilustración 11. Visualización de los indicadores de utilización de la flota de vehículos por CDI.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 12. Inclusión en el modelo de nuevos CD en Barcelona y Cabudare.	47
Ilustración 13. Interfaz de parámetros de corrida del modelo de simulación.....	49
Ilustración 14. Comportamiento de los indicadores de rendimiento del sistema ante el incremento de la frecuencia de pedidos. (situación actual).....	58
Ilustración 15. Comportamiento del tiempo de entrega y su desviación ante el incremento en la frecuencia de pedidos. (situación actual).....	58
Ilustración 16. Comportamiento de los indicadores de retraso ante el incremento de la frecuencia de pedidos (mejor escenario planteado).....	59
Ilustración 17. Comportamiento del tiempo de entrega y su desviación ante el incremento en la frecuencia de pedidos. (mejor escenario planteado).	60
Ilustración 18. Comparación de la situación actual vs el mejor escenario.	66

Ilustración 19. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la primera alternativa de mejora.....	66
Ilustración 20. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la segunda alternativa de mejora.	67
Ilustración 21. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la tercera alternativa de mejora.....	68
Ilustración 22. Histograma de frecuencia relativa de la tasa de generación de pedidos de Cooper Mascotas, C.A.....	71
Ilustración 23. Histograma de la tasa de generación de pedidos para Cooper Welding Electric, C.A.	72
Ilustración 24. Histograma de la tasa de generación de pedidos de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.	73
Ilustración 25. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Mascotas, C.A.	74
Ilustración 26. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Welding Electric, C.A.	74
Ilustración 27. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Diseños y Revestimientos, C.A.	75
Ilustración 28. Diagramas de ejecución de códigos de inicialización del modelo.	76
Ilustración 29. Regiones de Oriente y Occidente siendo atendidas desde los nuevos CD incluidos.	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de despacho del grupo de empresas.	9
Tabla 2. Frecuencia de salida de vehículos por zona de despacho.	9
Tabla 3. Lista de vehículos y sus características.	10
Tabla 4. Distribución de clientes del grupo de empresas.	12
Tabla 5. Ejemplo de clientes con sus facturas.	13
Tabla 6. Clasificación AB de clientes por empresa.	14
Tabla 7. Cantidad de artículos por empresa.	14
Tabla 8. Cantidad de unidades, ventas y facturaciones por artículo.	16
Tabla 9. Clasificación AB de los artículos por empresa.	17
Tabla 10. Velocidad promedio de desplazamiento de los vehículos.	21
Tabla 11. Parámetros de los clientes en el modelo de simulación.	27
Tabla 12. parámetros de los artículos en el modelo de simulación.	28
Tabla 13. Parámetros de los pedidos en el modelo de simulación.	29
Tabla 14. Programación semanal de despachos desde el CD de Charallave. .	34
Tabla 15. Parametros de los lotes de despacho en el modelo de simulación. ...	35
Tabla 16. Indicadores de rendimiento del sistema de distribución.	41
Tabla 17. Resumen de resultados del escenario 11.	58
Tabla 18. Resumen de resultados del escenario 12.	59
Tabla 19. Histograma de frecuencia relativa de la tasa de generación de pedidos de Cooper Mascotas, C.A.	71
Tabla 20. Histograma de la tasa de generación de pedidos para Cooper Welding Electric, C.A.	72
Tabla 21. Histograma de la tasa de generación de pedidos de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.	73
Tabla 22. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Mascotas, C.A.	73
Tabla 23. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Welding Electric, C.A.	74

Tabla 24. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.....	75
Tabla 25. Ejemplo de generación de un pedido. Identificación del cliente ordenante.....	89
Tabla 26. Ejemplo de generación de un pedido. Validación de los artículos en la orden.....	89
Tabla 27. Ejemplo de generación de un pedido. Validación de los valores totales del pedido.	90
Tabla 28. Resultados del grupo de empresa para en el año 2016.....	93
Tabla 29. Resultados obtenidos de la simulación de la situación actual.....	93
Tabla 30. Resultados de la empresa ajustados a los precios de marzo 2017. .	94
Tabla 31. Tabla de resultados del escenario 0.	95
Tabla 32. Tabla de resultados del escenario 1.	95
Tabla 33. Tabla de resultados del escenario 2.	96
Tabla 34. Tabla de resultados del escenario 3.	96
Tabla 35. Tabla de resultados del escenario 4.	97
Tabla 36. Tabla de resultados del escenario 5.	97
Tabla 37. Tabla de resultados del escenario 6.	98
Tabla 38. Tabla de resultados del escenario 7.	98
Tabla 39. Tabla de resultados del escenario 8.	99
Tabla 40. Tabla de resultados del escenario 9.	99
Tabla 41. Tabla de resultados del escenario 10.	100

I. SECCIÓN INTRODUCTORIA

I.1 Introducción

El *Grupo de Empresas Cooper* está conformado por tres unidades de negocio dedicadas al comercio al mayor en las principales ciudades del territorio venezolano. El sector comercial de cada negocio se compone de la siguiente manera:

- *Cooper Welding Electric, C.A* – sector ferretero y del hogar.
- *Cooper Mascotas, C.A* – sector veterinario y de productos para mascotas.
- *Cooper Diseños y Revestimientos, C.A* – sector de materiales y revestimientos para la construcción.

La sede administrativa del grupo se encuentra ubicada en el municipio Chacao del estado Miranda. Los procesos operativos de almacenamiento, preparación de pedidos y despachos se dirigen desde un centro de distribución ubicado en el municipio Cristóbal Rojas de la ciudad de Charallave en el Estado Miranda.

El grupo mantiene aproximadamente 1250 clientes entre las tres empresas y maneja una cantidad de 762 SKU¹ en inventario. Las ventas totales del grupo superaron los Bs. 1.000 MM para el año 2016, con más de 4200 órdenes de pedido procesadas.²

I.2 Planteamiento del problema

El grupo de empresas ha manifestado diferentes necesidades relacionadas a la eficiencia de su sistema de distribución. En primer lugar, existe una incertidumbre en los tiempos de entrega, lo cual afecta el rendimiento del

¹ *Stock Keeping Unit*: unidad de almacenamiento de un producto o servicio.

² Información tomada del informe anual de resultados “Informe de resultados 2016. Grupo de Empresas Cooper, Enero de 2017”.

departamento de ventas al no poder garantizar a los clientes que recibirán su mercancía ordenada en el momento en que la necesitan. En ocasiones puntuales, cuando existen picos de demanda, el sistema colapsa y se generan importantes retrasos en los despachos, que ocasionan altos costos indirectos por insatisfacción de sus clientes y la necesidad de tercerizar parte de su distribución. La compañía desconoce si la utilización de la flota disponible, almacenamiento de la mercancía, la programación de despachos y demás recursos involucrados, son aprovechados de forma oportuna o si existe la necesidad de incrementarlos.

Como respuesta a esta problemática se ha planteado elaborar un modelo de simulación que represente los procesos operativos del grupo de empresas, enmarcados en su sistema de distribución; desde la emisión de un pedido por parte de un cliente, su procesamiento en el centro de distribución, la programación del despacho y la entrega final al cliente.

El uso de la simulación como herramienta de diseño experimental permitirá al grupo de empresas evaluar diferentes escenarios que conduzcan a mejoras significativas de su sistema de distribución, sin la necesidad de realizar inversiones importantes en soluciones que podrían no resolver el problema.

Un sistema de información geográfico será incorporado al modelo, el cual permitirá obtener un alto nivel de precisión y detalle en los procesos de distribución simulados. La ubicación de clientes y centros de distribución en puntos geográficos y el uso de un servidor existente de las rutas de tránsito terrestre existentes en el país, permitirán crear un modelo realista del tránsito de los vehículos de despacho a lo largo del país.

Con base en los resultados experimentales se podrá preparar una propuesta de mejora para la compañía en función del escenario factible que arroje los mejores resultados, medidos en indicadores claves de rendimiento del sistema.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de mejora para el sistema de distribución de una empresa comercializadora mayorista con operaciones en el territorio venezolano utilizando la simulación como herramienta de diseño experimental.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar los procesos involucrados en el sistema de despachos y entregas de pedidos y levantar un diagnóstico.
2. Realizar un análisis estadístico de las variables relacionadas al sistema de distribución, a partir de los resultados históricos de la empresa para el período enero 2016- marzo 2017.
3. Construir un modelo de simulación que represente los procesos que conforman el sistema de distribución del grupo de empresas.
4. Simular diferentes escenarios con variación de parámetros del modelo e identificar las mejoras del sistema.
5. Identificar los escenarios más convenientes para presentar una propuesta de mejora del sistema de distribución del grupo de empresas.

1.4 Alcance de la investigación

El trabajo especial de grado propuesto busca estudiar en detalle el sistema de distribución de los productos comercializados, desde el momento en que es generado un pedido por un cliente en específico hasta el momento en que éste recibe su orden. Este proceso considera toda la logística que implica la recepción de un pedido, consolidación de varios pedidos en un lote de despacho, la selección del vehículo apropiado para el despacho, y la entrega al cliente.

Para nuestra investigación se considerarán los clientes de todo el territorio nacional, excluyendo sólo aquellos clientes ubicados en el estado Nueva Esparta,

por el hecho de que éstos, son despachados con una empresa tercerizada, cuyo comportamiento no forma parte del estudio.

En el año 2016, la empresa inició un proceso de registro de sus operaciones de despachos a través de la utilización de un sistema informático de gestión empresarial. Por esta razón, a efectos de nuestra investigación se tomarán en cuenta los datos recolectados a partir de dicho momento hasta finales del mes de marzo del año 2017.

Existen diferentes procesos que influyen de manera importante en los sistemas de despacho de mercancía. Los procesos de procura, políticas de inventario, procedimientos de preparación de pedidos, políticas de satisfacción del cliente, esquemas de mantenimiento de vehículos de transporte y factores externos a la organización, afectan de alguna manera – unos más que otros – las decisiones tomadas a la hora de decidir sobre qué despachar, cómo y cuándo.

El trabajo de grado busca estudiar en detalle el sistema de distribución independiente al resto de los procesos de la organización anteriormente descritos, por el hecho de que ellos no forman parte directa del sistema en cuestión. Esto no quiere decir que no sean importantes. Sus efectos serán tomados en cuenta durante la investigación y el diseño de la propuesta de mejora, sin embargo, no serán estudiados en detalle ni se darán recomendaciones en respecto a ellos.

Hoy en día, las operaciones de transporte y entrega de pedidos representan una porción importante de los costos operativos de cualquier empresa de comercialización. Para nuestra investigación solamente serán estudiados los costos generados por retrasos en las entregas. La razón de esta restricción se debe a que los costos operacionales se relacionan directamente con otros costos como: costo de mantenimiento de inventarios, costo de preparación de pedidos, costos de nómina del personal operativo, viáticos, etc. Los cuales forman parte de áreas que no son el objeto principal de este estudio.

A su vez, el objeto principal del estudio es diseñar una propuesta de mejora; su implementación y validación en la práctica, dependerán de las decisiones gerenciales del grupo de empresas. Por lo tanto, nuestro trabajo se limita exclusivamente a diseñar la propuesta y no a su posterior puesta en funcionamiento.

1.5 Limitaciones

Existe la posibilidad de que no se encuentre disponible de forma directa cierta información relativa a las variables de inclusión en los modelos de simulación. En esos casos será necesario implementar técnicas de manejo de datos.

El *software* seleccionado para desarrollar el modelo de simulación puede presentar limitaciones para representar la realidad del sistema, debido a la capacidad máxima de agentes de la licencia utilizada.

Podría presentarse el caso de que ninguno de los escenarios propuestos implique una mejora del rendimiento del sistema de distribución actual.

1.6 Antecedentes a la investigación

A causa de la naturaleza experimental de nuestra investigación resultó difícil encontrar publicaciones de referencia aplicables al desarrollo de nuestro trabajo. Sin embargo, un punto de partida de gran utilidad fue el caso de estudio *“Apparel company chose location for new distribution center using simulation modeling”*, publicado por la empresa *Fruit of the Loom, Inc.* en el año 2015. (Fruit of the Loom, Inc. 2015).

Los ejecutivos de la empresa americana de confecciones y prendas de vestir evaluaron los beneficios - en términos de costos de transporte - de agregar un nuevo centro de distribución² en los Estados Unidos y/o de redistribuir

² A partir de este punto se utilizará la abreviación CD para hacer referencia a “centro de distribución”.

productos en otro de sus CD preexistentes. La compañía construyó un modelo de simulación de su cadena de suministros con el fin de visualizar en un modelo de *Sistema de Información Geográfica*³ las redes de suministro de productos en todo el territorio norteamericano.

La cadena de suministros de la empresa fue definida por los siguientes elementos:

- Centros de distribución: ubicación, costo de operación, costos de instalación.
- Clientes: ubicación, tasa de demanda, despachos, distancia geográfica, tipo de transporte.
- Flota de camiones y trenes: ubicación, número de unidades, CD de origen y destinos.

Durante la construcción del modelo, el equipo de simulación analizó primero los datos históricos de los despachos, enfocándose en los clientes con alta demanda, hasta alcanzar una representación del 85% de los despachos reales de la empresa. El trabajo también considera un análisis estadístico de la demanda por despacho en unidades para cada cliente.

El CD principal de la empresa se ubicaba en el Suroeste de los Estados Unidos. Desde allí se realizaban los despachos directamente hacia los clientes, lo cual generaba retrasos y altos costos de transporte en clientes ubicados en zonas lejanas. Gracias a la herramienta de simulación la empresa pudo evaluar diferentes escenarios al agregar un nuevo CD en diferentes ubicaciones y observar el rendimiento del sistema de distribución a través de una reducción de costos de transporte.

³ GIS, por sus siglas del inglés.

Como resultado de la investigación la empresa estableció un nuevo CD en la ciudad de Summerville en Carolina del Sur y redujeron sus costos de transporte en aproximadamente un cuarenta y cinco por ciento.

Este trabajo nos sirvió de guía para entender las ventajas de la utilización de un sistema GIS en nuestro propio modelo. Además, nos permitió ver la inclusión de nuevos CDs como un factor de reducción de los costos de transporte en una empresa. Finalmente, de esta publicación obtuvimos un enfoque claro sobre cómo definir el nivel de abstracción adecuado para nuestra investigación.

I.7 Metodología de la investigación

En esta sección se expone la metodología que empleamos durante el desarrollo del trabajo especial de grado, tipo de investigación, diseño, enfoque, y las herramientas utilizadas.

I.7.1 Tipo de investigación

Nuestro estudio se puede catalogar como una investigación *de campo*, dado que, se analiza la situación real de la empresa, se busca experimentar distintos escenarios con la manipulación de diferentes variables. Cada escenario se puede analizar y comparar a través de indicadores. (Sampieri, 2014).

I.7.2 Enfoque de la investigación

Nuestra investigación tiene un enfoque completamente cuantitativo, ya que se desarrolló a través de bases de datos numéricas. Todo escenario presentado en el trabajo fue construido en su totalidad con los resultados de distintos análisis mediante el uso de herramientas estadísticas. (Vélez, 2015)

I.7.3 Diseño de la investigación

La investigación sigue una metodología del tipo *transeccional* debido a que los datos fueron recolectados en un período de tiempo determinado con el fin de

hacer inferencias en otro período de tiempo, como resultado de cambios en los parámetros del sistema. (Sampieri, 2014).

I.7.4 Herramientas utilizadas

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron distintas herramientas estadísticas para el análisis y comprensión de los datos como *Microsoft Excel* versión 1704 y *Minitab 17*. La experimentación de distintos escenarios fue llevada a cabo a través de un *software* de simulación *Anylogic* en su versión 8.0.2.

II. SECCIÓN CENTRAL

II.1 Descripción de los procesos operativos del grupo de empresas

Las tres empresas que conforman el grupo trabajan bajo los mismos procesos estandarizados; desde la recepción de órdenes de compra, hasta el despacho de la mercancía y su recepción por parte del cliente. El proceso inicia cuando un cliente envía su orden de pedido a través del sistema administrativo de la compañía. Este mismo sistema permite al cliente obtener al momento los inventarios disponibles de todos los SKU⁴ de la empresa⁵, lo cual evita solicitar artículos que no se tengan en existencia.

Una vez recibido el pedido, éste es procesado por el departamento de facturación y se envía una orden de preparación de pedido al almacén. El almacén inicia sus labores de *picking* y prepara el pedido. Los pedidos son separados y acumulados según la zona de despacho del cliente ordenante. La empresa posee nueve diferentes zonas de despacho según regiones geográficas y rutas de venta como se muestra en la tabla 1.

⁴ SKU: *stock keeping unit*. Se refiere a cada artículo individual de venta.

⁵ De la empresa por la cual es cliente. Ej. Un cliente de *Cooper Welding Electric* solo tiene acceso a los inventarios de esta empresa (sector ferretero y del hogar) pero no a los sku de las otras dos empresas.

La frecuencia de despacho de cada semana viene dada por la demanda existente por cada zona y las distancias recorridas (duración del viaje de despacho) desde el CD de Charallave hasta cada una de ellas.

Las zonas con despachos inter-diarios son efectuados los días martes y viernes de cada semana; mientras que, las zonas con despachos semanales son efectuados los días lunes de cada semana. En la tabla 2 se muestra la frecuencia de despachos para cada zona, nivel de demanda (Bajo, Medio y Alto), y la duración del viaje.

Código Zona	Poblaciones
1	Valles del Tuy.
2	Caracas (todos sus municipios).
3	La Guaira-Maiquetía-Catia La Mar-Caraballeda-Macuto-Carayaca-El Junquito-La Colonia Tovar.
4	Guarenas-Guatire.
5	Los Teques-San Antonio de Los Altos.
6	Valencia-San Diego-Puerto Cabello-Morón-Maracay-Cagua-La Victoria-Turmero-Boca de Aroa.
7	Barquisimeto-Cabudare-Maracaibo-Cabimas-Ciudad Ojeda- San Francisco del Zulia.
8	Mérida-El Vigía-Ejido-Barinas-Acarigua-Araure-Guanare-San Cristóbal-San Antonio del Táchira-Rubio.
9	Puerto La Cruz-Barcelona-Lechería-Cumaná-Puerto Píritu-Cumanacoa-Anaco-Maturín-El Tigre-Guasipati-El Callao-Tumeremo-Ciudad Guayana - Ciudad Bolívar - Puerto Ordaz - San Félix-Temblador-Valle de la Pascua- zaraza-guarico-las mercedes del llano.

Tabla 1. Zonas de despacho del grupo de empresas.

Frecuencia de despacho	Zonas	Nivel Demanda	Duración viaje de despacho
Diaria	2	Alto	menos de un día
Inter-diaria	6	Medio	menos de un día
Semanal	1,3,4,5	Bajo	menos de un día
Semanal	7,8,9	Alto	más de un día

Tabla 2. Frecuencia de salida de vehículos por zona de despacho.

La empresa cuenta con una flota de vehículos de despacho con las características que se muestran en la tabla a continuación:

ID	Marca	Modelo	número de unidades	capacidad max. (kg)	capacidad max. (m3)
1	MITSUBISHI	L300	2	1000	5.7
2	IVECO	50.12/DAILY	2	2850	15.8
3	IVECO	60.12	1	4280	19.48
4	IVECO	170E22/EUROCARGO	1	11920	22.11
5	IVECO	260E25/EUROCARGO	1	18500	37.013

Tabla 3. Lista de vehículos y sus características.

Previo al despacho se verifican los pedidos acumulados para la zona y se selecciona el vehículo de la flota cuyas capacidades se adecuen mejor al lote de despacho. Los vehículos son cargados y se asigna un chofer y ayudante para realizar el despacho.

Los despachos se realizan de forma consolidada entre las 3 empresas del grupo. Es decir, los camiones se cargan agrupando la mayor cantidad de órdenes de pedido sin diferenciar entre cada empresa. Un despacho programado por lo general incluye despachos de clientes de las tres empresas.

La compañía incluye las siguientes políticas en sus procesos de despacho:

- Todos los Camiones deben estar de vuelta en el centro de distribución los días viernes antes de las 7:00 pm.
- Los camiones no podrán circular pasadas las 7:00 pm de un día determinado (deben parar para pasar la noche).

II.2 Importancia de los retrasos en las entregas

Las relaciones positivas entre proveedores y clientes son la columna vertebral de un negocio exitoso. Mientras un cliente confíe más en su proveedor, mayor será su lealtad de compra.

Un estudio realizado por la *Europe Business School ESCP* basado en una encuesta a más de dos mil consumidores en el Reino Unido y en los Estados Unidos, reveló que la confianza de un cliente hacia su proveedor determina en

un rango de 22 a 44% por ciento la lealtad de compra del cliente (Halliburton, C., 2010).

La confianza en los plazos de entrega de un proveedor hacia su cliente juega un papel decisivo en la voluntad de compra del cliente. Una entrega efectiva puede incrementar la frecuencia de compra de un cliente y su lealtad hacia la compañía. Por el contrario, los retrasos en las entregas generan pérdida de voluntad de compra y ocasionan que el cliente tenga que recurrir a otro competidor para satisfacer sus necesidades de abastecimiento.

Esta pérdida de voluntad y lealtad de compra genera costos y pérdidas a las empresas que son difíciles de cuantificar porque se trata de costos intangibles, difíciles de medir y que no son registrados en los libros contables de las compañías. Las empresas suelen asignar una penalización discrecional a los retrasos con el fin de contabilizar las pérdidas y generar un indicador del nivel de servicio de entrega al cliente.

En el caso del *Grupo de Empresas Cooper*, existe una penalización por retrasos que implica generar un costo equivalente al 30% del valor monetario de todo pedido que sea entregado pasado los 10 días desde la emisión de la orden de compra. Para el año 2016 la empresa registró una penalización por retrasos de aproximadamente Bs. 66 millones.

Parte del objeto de este trabajo de grado consiste en encontrar una propuesta de mejora al sistema de distribución, que reduzca esta penalización y garantice una mejora en los niveles de satisfacción del cliente.

II.3 Recopilación y análisis de datos de las variables del modelo de simulación

Previo a la construcción del modelo de simulación fue necesario realizar un análisis de los datos históricos de facturación y de los registros satelitales de la velocidad de desplazamiento de los vehículos de las empresas del grupo, para

reunir la información necesaria que fue utilizada en la definición de variables y procesos contemplados en el modelo de simulación.

II.3.1 Análisis y clasificación AB de clientes

	Cientes
COOPER DISEÑOS Y REVESTIMIENTOS, C.A.	81
COOPER MASCOTAS, C.A.	327
COOPER WELDING ELECTRIC, C.A.	847
Total	1.255

Tabla 4. Distribución de clientes del grupo de empresas.

La tabla 4. muestra el número de clientes por empresa. Como se puede observar, existe una gran cantidad de clientes para los negocios *Cooper Mascotas, C.A.* y *Cooper Welding Electric, C.A.*, lo cual, hace más complicado el manejo de la información y posteriormente, la construcción del modelo de simulación. Por esta razón, fue necesario segmentar los clientes con el fin de disminuir la cantidad y facilitar así el manejo, análisis y construcción del modelo. Los clientes tomados en cuenta para el estudio corresponden a todos los facturados durante el período de enero 2016 hasta marzo 2017.

Es importante explicar que la empresa considera como un cliente cada razón social a la cual se le haya facturado alguna vez en el tiempo, es decir, puede existir el caso en que una empresa haya facturado una sola vez en el período estudiado y de igual manera formar parte de la clientela de la empresa.

Una de las condiciones para segmentar los clientes es la cantidad de facturas emitidas durante el período en estudio. De esta manera, se le está dando mayor importancia a los clientes que facturaron con mayor frecuencia, lo cual se traduce en despachos y entregas de mercancía, factor principal del caso de estudio.

Existe el caso también de clientes que facturaron una sola vez en el período de estudio, pero por un monto de ventas considerablemente alto, lo cual caracteriza al cliente como potencial para la empresa a efectos de ingresos. Por

esta razón, se consideró como otra condición para la segmentación de cliente, el monto de ventas totales de cada cliente durante el período de estudio.

A continuación, se presenta un ejemplo de dos clientes de *Cooper Welding Electric, C.A.* para los dos casos mencionados anteriormente:

Ene-2016 a Mar-2017		
Descripción	Facturaciones	Ventas (Bs.F)
FERRETERIA VALENTE UNO, C.A	17	1.121.914
ASOC.PRODUCTORES AGROPECUARIOS DEL EDO GUARICO	1	3.900.000

Tabla 5. Ejemplo de clientes con sus facturas.

En el caso del primer cliente se observa que facturó en 17 ocasiones durante el período en estudio, razón por la cual debe ser considerado entre los clientes del segmento a estudiar; mientras que el segundo cliente, a pesar de que solo facturó una vez en el período en estudio, generó un ingreso considerable lo cual coloca al cliente en una posición de cliente importante para la empresa. Se tomaron en cuenta dos variables para segmentar a los clientes:

- Facturaciones: indica cuántas veces un cliente generó una orden de pedido a la empresa.
- Ventas registradas: indica el monto de ventas que generó un determinado cliente para la empresa en el período en estudio.

Finalmente, una vez expuestas las condiciones para la clasificación de clientes se segmentó la clientela en dos grupos:

- A: clientes cuya participación en la cantidad de facturaciones y ventas registradas, en combinación, acumulan el 90%.
- B: clientes cuya participación en la cantidad de facturaciones y ventas generadas, en combinación, forman parte del 10% restante.

Un cliente forma parte del segmento “A” si, y sólo si, cumple con las dos condiciones, es decir, debe formar parte de los clientes que acumulan el 90% tanto en la cantidad de facturaciones como las ventas registradas.

Por otro lado, se decidió tomar un 90% como límite para la segmentación debido a que, a pesar de abarcar una gran proporción de las facturaciones y ventas registradas, se logró reducir notablemente la cantidad de los clientes. Además, los clientes que forman parte del 10% restante, no tienen influencia considerable en la cantidad total de facturaciones y ventas registradas.

A continuación, se presenta la reducción de los clientes luego de la clasificación AB:

Clasificación AB clientes			
Negocio	A	B	Total
COOPER WELDING ELECTRIC, C.A.	372	475	847
COOPER MASCOTAS, C.A.	129	198	327
COOPER DISEÑOS Y REVESTIMIENTOS, C.A.	35	46	81

Tabla 6. Clasificación AB de clientes por empresa.

II.3.2 Análisis y clasificación AB de los artículos

Al igual que para los clientes, cada uno de los tres negocios de la empresa tiene sus propios artículos para la venta. A continuación, se muestra una tabla resumen:

	Artículos
COOPER DISEÑOS Y REVESTIMIENTOS, C.A.	34
COOPER MASCOTAS, C.A.	310
COOPER WELDING ELECTRIC, C.A.	418
Total	762

Tabla 7. Cantidad de artículos por empresa.

Los negocios *Cooper Mascotas, C.A.* y *Cooper Welding Electric, C.A.* presentan gran cantidad de artículos, que al igual que con los clientes, dificulta el manejo y análisis de datos, y posteriormente, la construcción del modelo de simulación. Por esta razón, se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente en los clientes para disminuir la cantidad de artículos.

Los artículos tomados en cuenta para el estudio corresponden a aquellos que fueron facturados durante el período de enero 2016 hasta marzo 2017. Una

vez analizados los datos de los artículos, se determinaron tres variables importantes para su segmentación.

- Unidades vendidas: indica la cantidad de unidades vendidas de un artículo determinado en el período en estudio.
- Ventas registradas: indica el monto generado en ventas por un artículo determinado en el período en estudio.
- Facturaciones: indica cuántas veces fue facturado un determinado artículo en el período en estudio.

A continuación, se exponen varias razones por las que se decidió tomar estas tres variables para la segmentación de los artículos.

- Las unidades vendidas durante el período en estudio implican volumen y peso en el camión donde serán despachadas, razón por la cual, a mayor cantidad, tienen un impacto importante en la logística de despachos de la empresa.
- Las ventas registradas de un artículo en el período en estudio tienen gran importancia para la empresa, ya que, los artículos que generan los mayores ingresos deben ser tomados en cuenta para el modelo de simulación.
- Las facturaciones de cada artículo se refieren a la cantidad de veces que un artículo fue facturado, es decir, cuántas veces apareció un artículo determinado en las facturas emitidas durante el período en estudio.

Con las tres variables seleccionadas se pueden presentar los siguientes casos:

- Las unidades vendidas de un artículo son altas, mientras que el monto de ventas es relativamente bajo, o viceversa. En este caso, las unidades vendidas o el monto de venta deben ser tomados en cuenta para la segmentación de los artículos.

- La cantidad de artículos vendidos fue muy alta, mientras que solo se facturó una sola vez en el período en estudio, es decir, todas las unidades vendidas corresponden a una sola factura. Cabe destacar que, las unidades vendidas deben ser mayor o igual a la cantidad de facturaciones. Si un artículo se factura con gran frecuencia, pero en cantidades relativamente bajas, también debe ser tomado en cuenta en el modelo debido a su frecuente presencia en las facturaciones.
- Un artículo podría facturarse pocas veces y, sin embargo, representar un gran monto de las ventas registradas, o viceversa. Por lo tanto, la cantidad de facturaciones y el monto de ventas registradas tienen un papel importante en la segmentación de los datos.

A continuación, se presenta un ejemplo de tres artículos de *Cooper Mascotas, C.A.* para los casos mencionados anteriormente:

Ene-16 a Mar-2017

Descripción	Unidades vendidas	Ventas (Bs.F)	Facturaciones
Kennel para Mascotas M 61*40*39cm	327	18.211.764	117
Juguete Con Sonido Steak 12cm	898	579.639	108
Kennel para Mascotas L 61.5*51*47cm	242	24.401.636	95

Tabla 8. Cantidad de unidades, ventas y facturaciones por artículo.

Se observa que el primer artículo se vendió menos que el segundo, pero generó mayores ingresos en cuanto a ventas. Por otro lado, el tercer artículo fue el que menos unidades vendió, menos cantidad de veces fue facturado y, sin embargo, fue el que generó mayores ingresos para el negocio.

Al igual que con los clientes, se segmentaron los artículos en 2 grupos:

- A: artículos cuya participación en la cantidad de unidades vendidas, cantidad de facturaciones y ventas registradas, en combinación, acumulan el 90%.

- B: artículos cuya participación en la cantidad de unidades vendidas, cantidad de facturaciones y ventas generadas, en combinación, forman parte del 10% restante.

Cabe destacar que un artículo forma parte del segmento “A” si, y sólo si, cumple con las tres condiciones; es decir, debe formar parte de los artículos que acumulan el 90% en la cantidad de unidades vendidas, cantidad de facturaciones y las ventas registradas.

Se decidió tomar un 90% como límite para la segmentación debido a que, a pesar de abarcar una gran proporción de las unidades vendidas, facturaciones y ventas registradas, se logró reducir notablemente la cantidad de los clientes. Además, los artículos que forman parte del 10% restante, no tienen influencia considerable en la cantidad total de unidades vendidas, facturaciones y ventas registradas.

A continuación, se presenta la reducción de los artículos luego de la clasificación AB:

Clasificación AB artículos			
Negocio	A	B	Total
COOPER WELDING ELECTRIC, C.A.	64	354	418
COOPER MASCOTAS, C.A.	78	232	310
COOPER DISEÑOS Y REVESTIMIENTOS, C.A.	7	27	34

Tabla 9. Clasificación AB de los artículos por empresa.

II.3.3 Análisis de datos relacionados con la generación de pedidos

La generación de pedidos es un proceso complejo de simular en un modelo. Para un enfoque de acercamiento a este proceso nos planteamos las siguientes preguntas:

- ¿Con qué frecuencia se genera un pedido en la empresa?
- Una vez generado un pedido, ¿qué probabilidad existe de que pertenezca a un cliente específico?
- ¿Cuántos artículos tendrán las órdenes de pedido?

- ¿Qué artículos conformarán el pedido?
- ¿Qué cantidad será ordenada por cada artículo en el pedido?

Para poder dar respuesta a estas interrogantes fue necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo de los registros históricos de facturación de la empresa para el período enero 2016-marzo 2017. Se analizó la emisión de facturas por cliente, por artículo y la cantidad de artículos ordenados por factura.

i. Probabilidad de generación de pedido por cliente

La probabilidad de que un cliente genere un pedido en el sistema se determinó con la cantidad de veces que se emitió una factura para dicho cliente, respecto a la cantidad total de facturaciones de cada uno de los tres negocios en el período en estudio.

ii. Probabilidad de ordenar un artículo determinado

La probabilidad de ordenar un artículo en específico se determinó con la cantidad de veces en que el mismo fue facturado, respecto a la cantidad total de facturaciones de artículos de cada uno de los 3 negocios en el período en estudio. Es importante señalar que esta probabilidad corresponde al evento en que el artículo sea ordenado, más no la cantidad en caso de que sea ordenado. El análisis de la cantidad de unidades dado que el artículo es ordenado se presentará posteriormente.

iii. Análisis de la frecuencia de pedidos por empresa

Una variable de gran importancia relacionada con los clientes para el modelo de simulación es la frecuencia con que éstos van a generar un pedido, ya que, cada pedido requiere de un espacio específico en un determinado camión, un despacho y una entrega.

La frecuencia de pedidos por empresa se determinó a través de las facturas emitidas semanalmente por cada uno de los tres negocios. Se decidió tomar la frecuencia en intervalos de semanas por el hecho de que, todos los

viernes los camiones deben estar de regreso en el centro de distribución antes de las 7 pm. En este sentido, todos los lunes se cuenta con la flota de camiones completa para los despachos correspondientes a dicha semana.

Una vez ordenadas las facturas emitidas de cada uno de los tres negocios semanalmente para el período de tiempo en estudio (65 semanas), se procedió a determinar los casos atípicos con el fin de descontaminar la data. Los datos atípicos fueron hallados con el *software* Minitab, utilizando la prueba de Grubbs⁶.

Se realizaron varias pruebas de bondad del ajuste para las facturaciones semanales de cada uno de los 3 negocios; sin embargo, en ninguno de los tres casos se encontraron evidencias muestrales a un nivel de significación del 10%, de que los datos se ajustan a una distribución probabilística conocida. Por esta razón, se tomó la decisión de utilizar histogramas de frecuencia de facturaciones semanales, lo cual se traduce en pedidos semanales para cada uno de los tres negocios.

Los histogramas contruidos que definen nuestra distribución empírica de la frecuencia de pedidos por empresa pueden ser consultados en el anexo I.

iv. Análisis de la cantidad ordenada por artículo

A cada pedido generado por un cliente le corresponde una cantidad de artículos y una cantidad de unidades de cada uno de esos artículos. Para determinar la cantidad de unidades ordenadas por artículo en cada pedido se analizaron las facturas por artículos de cada uno de los tres negocios de la empresa.

Cada vez que un artículo fue facturado en el período en estudio, se puede observar la cantidad de unidades que fueron vendidas; de esta forma, se conoce la cantidad de unidades en cada factura. Posteriormente, se realizó un análisis

⁶ La prueba de Grubbs utiliza una estadística de prueba T, que es la diferencia absoluta entre el valor atípico, X_0 , y el promedio de la muestra dividida por la desviación estándar de la muestra. (Murphy & Lau, 2008).

de los datos atípicos para los tres negocios utilizando el *método del rango Intercuartílico*, para posteriormente eliminar aquellos valores donde la cantidad de unidades del artículo en una factura fuese irregular. Se seleccionó este método debido a la facilidad de su aplicación para bases de datos amplias.

Es importante señalar que, aunque se realizó una clasificación AB de los artículos para facilitar el manejo de los mismos, de igual manera, la cantidad de artículos que forman parte del segmento “A” sigue siendo una cantidad considerable. Por esta razón, en lugar de determinar una distribución probabilística para cada uno de los 149 artículos que conforman el segmento “A”, se tomó la decisión de calcular su media y desviación estándar. De esta manera, la cantidad de unidades de un artículo en específico en cada pedido será determinada con una distribución normal con resultados de valores enteros. Esta decisión forma parte de las suposiciones del modelo.

v. *Análisis de la cantidad de artículos por pedido*

La empresa registra cada una de las facturas en el sistema operativo en bases de datos, donde cada una cuenta con un número de factura y la información principal. Para este caso se tomó la cantidad de artículos que contiene cada una de las facturas por separado para los tres negocios.

Una vez organizada la información, se procedió a analizar la frecuencia de artículos por pedido para cada negocio por separado. En ninguno de los tres casos se logró conseguir una distribución probabilística conocida que se ajustara a los mismos. Por esta razón, se decidió utilizar los histogramas de frecuencia para cada negocio⁷.

⁷ Para consultar los histogramas de frecuencia de la cantidad de artículos ordenados en un pedido, ver el anexo 2.

II.3.4 Análisis de la distribución probabilística de la velocidad de los vehículos

La empresa se encuentra suscrita en el servicio de la empresa *Tracker GPS de Venezuela*, la cual cuenta con sistemas de localización satelital. Cada uno de los vehículos de la empresa se encuentra monitoreado por este sistema GPS. Parte de los servicios de Tracker incluye la emisión de varios informes con información de los movimientos de los vehículos. Uno de ellos presenta la información del nombre de cada vehículo, distancia recorrida, ubicación inicial y final para cada movimiento con una respectiva fecha, velocidad máxima y promedio (Km/h).

De acuerdo con el reporte, los vehículos presentan una velocidad promedio similar y una desviación estándar notablemente baja. Se tomó la decisión de atribuir la misma velocidad para cada uno de los vehículos utilizados en el modelo. La tabla a continuación presenta la velocidad promedio de cada uno de los vehículos en el período en estudio:

Vehículo	Promedio de Velocidad Prom. (km/h)
IVECO TORONTO 260E25	59,49
IVECO BLANCO 5012	55,99
IVECO FURGON 5012	62,68
IVECO TECTOR 170E22	55,38
MITSUBISHI 1	60,65
MITSUBISHI 2	60,00
Promedio general	58,74
Desviación estándar general	2,82

Tabla 10. Velocidad promedio de desplazamiento de los vehículos.

Se realizó un análisis de datos atípicos y no se determinó ningún valor irregular para las velocidades. Luego, se realizó una prueba de bondad de ajuste *chi-cuadrado* con las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos muestrales se ajustan a una distribución triangular.

Hi: Los datos muestrales no se ajustan a una distribución triangular.

Una vez realizada la prueba se obtuvo un *p-valor* de 0.41, lo cual implica que a un nivel de significación del 5%, no existen evidencias muestrales que permitan rechazar la hipótesis nula. De esta manera, se concluye que la velocidad promedio de los vehículos se ajusta a una distribución triangular con los parámetros: (Mínimo: 33 Km/h; Moda: 56 Km/h; Máximo: 77 Km/h).

II.4 Construcción del modelo de simulación

II.4.1 Selección del *software* y el método de simulación

El *software* utilizado para la construcción del modelo de simulación de nuestra investigación fue *Anylogic* en su versión 8.0.2, desarrollado por la empresa *The Anylogic Company*.

Anylogic es un *software* que soporta los tres métodos de modelos de simulación existentes: sistemas dinámicos, simulación por eventos discretos y simulación basada en agentes; y permite la combinación de éstos para crear modelos multi-metodológicos.

Los sistemas dinámicos requieren de un alto grado de abstracción, y se utiliza para modelos estratégicos a un nivel macro. Los modelos de simulación por eventos discretos se utilizan para niveles de abstracción medios y medio-bajos. En el medio se ubican los modelos basados en agentes, que pueden ir desde modelos de alto detalle hasta modelos considerablemente abstractos.

La mejor forma de modelar diferentes partes de un sistema es combinando diferentes métodos. Un modelo multi-metodológico siempre se adaptará mejor a las necesidades del constructor del modelo. (Borschev, 2013).

Los procesos de despachos que fueron simulados para nuestra investigación requirieron de un alto grado de detalle (bajo nivel de abstracción). Siguiendo las recomendaciones de Borschev en su publicación *The Big Book of Simulation Modeling*, escogimos un método combinado entre simulación por eventos discretos, y simulación basada en agentes. *Anylogic* es la una

herramienta que permite la combinación de ambos métodos dentro de un único lenguaje de programación y un único ambiente de desarrollo del modelo. Además, es el único *software* que posee un servidor de GIS integrado, el cual fue ampliamente utilizado en nuestro modelo.

A diferencia de otras casas de *software* de simulación *The Anylogic Company* nos proveyó de una licencia profesional gratuita durante el desarrollo de nuestro estudio y mantuvo una comunicación constante para brindarnos soporte y asesoría en la utilización del *software* y construcción del modelo.

II.4.2 Instalación del ambiente GIS del modelo

La implementación del sistema GIS en nuestro modelo está basada en la herramienta de visualización geo-espacial *OpenMap*⁸. Esta herramienta nos permite proyectar en un eje cartesiano de latitudes y longitudes los agentes en nuestro modelo. Además, permite la interacción de los agentes (clientes, camiones, CDs) con el espacio geográfico en donde coexisten, de forma tal que un agente puede trasladarse de un punto geográfico a otro a una velocidad determinada, utilizando un servidor de rutas existentes a nivel mundial.

Implementar el ambiente GIS en nuestro modelo nos permitió ubicar los agentes⁹ del modelo en sus puntos geográficos reales y definir el movimiento de nuestros camiones en despacho a través de las vías terrestres venezolanas (calles, avenidas, autopistas y carreteras) con un alto nivel de precisión. De esta forma pudimos evitar imprecisiones y suposiciones poco convenientes sobre las distancias de recorrido vehicular desde un CD hasta un cliente determinado.

El ambiente GIS de nuestro modelo fue parametrizado para trabajar dentro de las coordenadas geográficas (7.6; -74; 12.22; -60)¹⁰ del *WGS 84 datum*¹¹ La

⁸ Para más información sobre OpenMap, visitar <http://openmap-java.org/>.

⁹ Para conocer los agentes del modelo diríjase a la sección: II.4.3.

¹⁰ (latitud inferior; longitud izquierda; latitud superior; longitud derecha).

¹¹ El *WGS 84 datum* es un estándar mundial de cartografía, geodesía y navegación. Es la proyección en plano de la superficie esferoidal de La Tierra.

ilustración 1. muestra un aproximado del plano geográfico dictado por estas coordenadas.

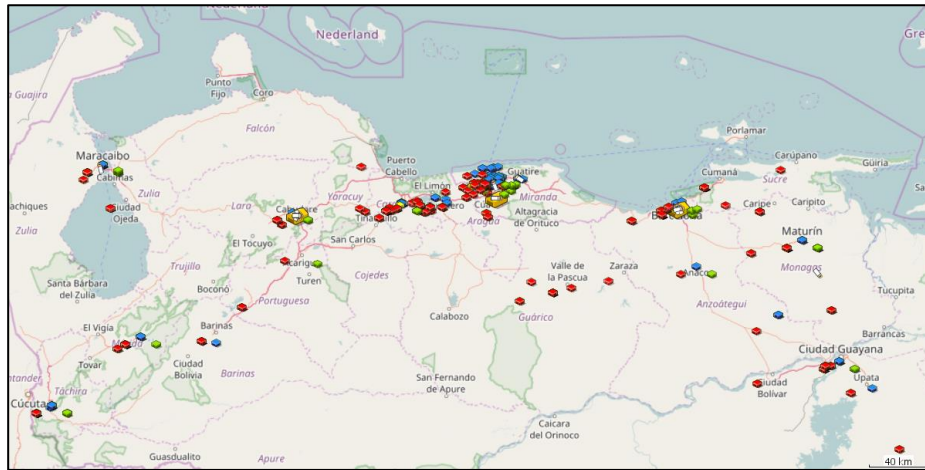


Ilustración 1. Plano geográfico de trabajo del modelo de simulación.

II.4.3 Instalación de los agentes del modelo

Antes de indicar los parámetros de creación e instalación de los agentes que forman parte de nuestro modelo es preciso definir qué es un agente.

Los agentes son los principales bloques de construcción de un modelo en *Anylogic*. Un agente es una unidad de diseño del modelo que tiene un comportamiento y cualidades definidos. Puede representar diversos elementos: vehículos, equipos, máquinas, proyectos, productos, personas, empleados, inversiones y hasta organizaciones enteras. (Grigoryev, 2016).

El diseño de un agente consiste en definir sus atributos, su comportamiento y su interacción con el ambiente externo de simulación. Además, se pueden agrupar en poblaciones de agentes (ej. Flotas de vehículos, pasajeros en un aeropuerto). Su comportamiento puede ser modelado de forma dinámica; cambiando de un estado a otro y ejecutando acciones específicas dentro del modelo.

En nuestro modelo existen 6 tipos de agente. Algunos son tangibles y visibles; otros son abstractos y de alojamiento de información. Estos son:

- Centros de Distribución (CD)
- Clientes
- Artículos (productos de comercialización)
- Órdenes de pedido (abstracto, intangible)
- Lote de despacho (abstracto intangible)
- Vehículos

En la sección a continuación explicaremos como fueron creados los primeros tres tipos de agente y sus poblaciones. El resto será definido a medida que se haga necesario explicar los procesos de funcionamiento del sistema de distribución de la empresa.

i. Creación e instalación de los CD.

El centro de distribución del grupo de empresas es la pieza fundamental del sistema de distribución. En él se almacena el inventario de productos para la venta, se reciben y preparan las órdenes de pedido para formar lotes de despacho y se cargan los vehículos de transporte para repartir las órdenes a sus clientes respectivos. El centro de distribución aloja la flota de vehículos de la empresa cuando no están en uso y demás activos de gran valor para la compañía (maquinaria de empaque, equipos de manejo de materiales, etc.).

En la situación actual la empresa mantiene un único CD ubicado en la ciudad de Charallave en el Estado Miranda. Sin embargo, hablamos de crear múltiples CD en nuestro modelo en razón de que parte del diseño experimental consiste en evaluar escenarios, donde se incluyan nuevos CD en ubicaciones estratégicas en el resto del país.

Los parámetros diseñados para el agente tipo CD en nuestro modelo de simulación son los siguientes:

- Nombre: se refiere al nombre asignado al CD. Ej. “CD Charallave”
- Ubicación: dirección de ubicación geográfica en el ambiente GIS.
- Número de vehículos: número de vehículos por tipo¹² en el CD.
- Animación: los CD se representan con una edificación amarilla en el mapa.

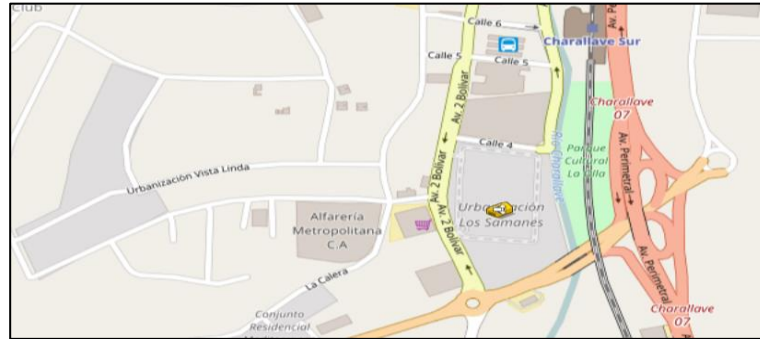


Ilustración 2. Ubicación geográfica y animación del CD de Charallave.

ii. Creación e instalación de los clientes.

Al inicio de una corrida del modelo se crean los agentes mediante un código ejecutable, el cual realiza iteraciones sobre la base de datos de clientes de la empresa, instala los clientes en su ubicación geográfica y asigna sus distintos parámetros .

La animación de los clientes es una edificación con un color particular dependiendo de la empresa a la cual pertenezcan. Los clientes de Cooper Welding Electric se visualizan con un color rojo; los de Cooper Mascotas en azul y los Cooper Diseños y Revestimientos en color verde.

Para conocer el conjunto de códigos de programación que crean e instalan los clientes en el modelo, véase el anexo III.

La tabla a continuación presenta los parámetros definidos para un cliente determinado:

¹² Véase la tabla 3. para los tipos de vehículo.

Nombre del Parámetro	Tipo (Java o Anylogic) ¹³	Descripción
ID	integer (número entero)	Es un número entero que va desde el cliente "1" hasta el cliente "n". Los clientes son manejados de forma independiente por empresa
Empresa	String (texto)	Empresa del grupo a la cual pertenece el cliente. ("CWE" para Cooper Welding Electric, "CM" para Cooper Mascotas, "CDYR" para Cooper Diseños Y Revestimientos).
fi	double (número racional)	Frecuencia de generación de pedidos del cliente. Valor que define la probabilidad de generación de pedido de un cliente, definido entre 0 y 1.
centroDist	CD	Define el CD al cuál el cliente envía sus órdenes de pedido. Se obtiene mediante la función en código Java <i>getNearestAgentByRoute()</i> , el cuál determina en el ambiente GIS cuál es el CD más cercano en ruta terrestre ¹⁴ .
zonaDespacho	integer (número entero)	Define en cuál de las 9 zonas de despacho se ubica el cliente.

Tabla 11. Parámetros de los clientes en el modelo de simulación.



Ilustración 3. Animación de los clientes en el ambiente de simulación.

¹³ Los modelos en *Anylogic* son completamente programables en código de programación Java, por lo tanto, los tipos que definen una variable en Java (double, int, string, boolean) se mantienen en este *software*.

¹⁴ En el escenario de la situación actual donde sólo existe el CD de Charallave, la función asignará a todos los clientes este CD por defecto.

iii. Creación de los artículos

Los artículos son los productos o SKU comercializados por las empresas del grupo. En nuestro modelo de simulación se forman a partir de los parámetros que se encuentran en la tabla 12.

A propósito de la animación de nuestro modelo de simulación, no es relevante para nosotros observar los artículos, por esta razón, no presentan animación visible. Los artículos son pues agentes intangibles en nuestro modelo.

Nombre del Parámetro	Tipo (Java o Anylogic)	Descripción
ID	integer (número entero)	Es un número entero que va desde el artículo "1" hasta el artículo "n".
Empresa	String (texto)	Empresa del grupo que maneja este artículo. ("CWE" para Cooper Welding Electric, "CM" para Cooper Mascotas, "CDYR" para Cooper Diseños Y Revestimientos).
CBM	double (número racional)	Volumen en metros cúbicos que ocupa una unidad del artículo.
Peso	double (número racional)	Peso en kilogramos que pesa una unidad del artículo.
Precio	double (número racional)	Valor de venta en bolívares de una unidad del artículo.
fi	double (número racional)	Frecuencia de generación de pedidos que contienen este artículo. Valor que define la probabilidad de que, al ser generado un pedido, contenga este artículo; definido entre 0 y 1.
mediaOrden	integer (número entero)	Define el valor promedio de unidades ordenadas del artículo, cuando es ordenado en un pedido.
desvOrden	integer (número entero)	Define la desviación del número de unidades ordenadas del artículo, cuando es ordenado en un pedido.
cantidadOrdenada	integer (número entero)	Define la cantidad ordenada del artículo en un pedido., en función de los dos parámetros anteriores. ¹⁵

Tabla 12. parámetros de los artículos en el modelo de simulación

¹⁵ En la sección II.3.3.iv, se indicaron las razones por las cuales a efectos de nuestra investigación la cantidad ordenada sigue una distribución normal cuya media y desviación son los parámetros "mediaOrden" y "desvOrden".

Al igual que los clientes, los artículos se crean mediante un código ejecutable que realiza iteraciones sobre la base de datos de artículos de la empresa, definiendo sus parámetros y agrupándolos en una población de artículos¹⁶.

II.4.4 Generación de las órdenes de pedido

El proceso de generación de pedidos representa la columna vertebral de nuestro modelo de simulación. Contempla la emisión de un pedido por parte de un cliente con todas las propiedades de un pedido real, y su envío hacia el CD de la empresa para su posterior procesamiento.

Los pedidos también son agentes dentro del modelo. Sin embargo, se diferencian de los descritos anteriormente en el sentido que son agentes abstractos, de pura información almacenada referente a los atributos de una orden de compra. Los pedidos contienen los siguientes parámetros:

Nombre del Parámetro	Tipo (Java o Anylogic)	Descripción
clienteOrdenante	Cliente	Es un parámetro que indica a qué cliente (agente) pertenece el pedido.
articulosEnLaOrden	ArrayList (lista de agentes)	Colección de agentes del tipo "Artículo" que representa los artículos ordenados por el cliente en el pedido y almacenados con una lista del tipo <i>ArrayList</i> (Java).
valorOrden	double (número racional)	Representa el valor monetario en bolívares del pedido generado, obtenido a partir de la multiplicación del precio de venta del artículo por su cantidad ordenada.
pesoOrden	double (número racional)	Peso en kilogramos del pedido generado, obtenido a partir de la multiplicación del peso unitario de los artículos en el pedido por su cantidad ordenada.
cbmOrden	double (número racional)	Volumen en metros cúbicos del pedido generado, obtenido a partir de la multiplicación del volumen unitario de los artículos en el pedido por su cantidad ordenada.

Tabla 13. Parámetros de los pedidos en el modelo de simulación.

¹⁶ Ver anexo III.

i. *Frecuencia de generación de pedidos*

La emisión de pedidos en el modelo es un evento que ocurre en el tiempo a partir de una tasa o frecuencia determinada. Esta tasa define el tiempo que transcurre entre la emisión de un pedido y el siguiente.

La frecuencia de generación de pedidos es a su vez una variable aleatoria cuya distribución viene dada por el histograma obtenido en la sección “Análisis de la frecuencia de pedidos”, con los datos empíricos de los valores históricos de recepción de pedidos de las empresas.

El valor aleatorio generado por la distribución está definido en número de pedidos por semana¹⁷.

Cómo es lógico, cada empresa tiene una tasa de generación de pedidos distinta. Por ejemplo, *Cooper Welding Electric* genera más pedidos por semana que *Cooper Mascotas* y que *Cooper Diseños y Revestimientos*. Esto resulta en que cada empresa tiene su propia tasa de generación de pedidos (definida con su propia distribución de probabilidad empírica) en el modelo, y la ocurrencia del evento es completamente independiente de una empresa a otra.

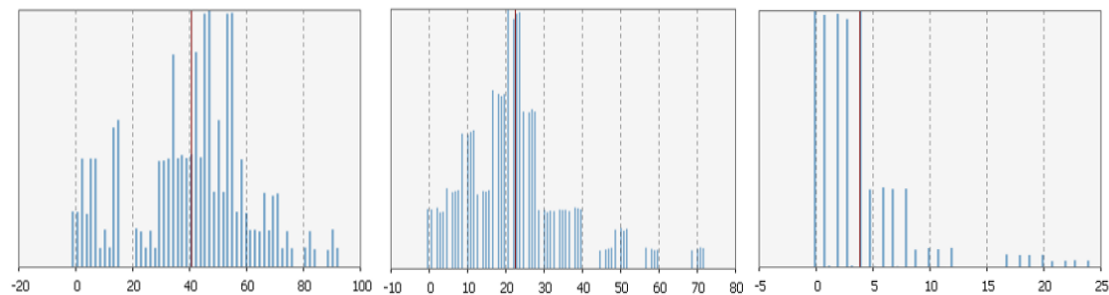


Ilustración 4. Distribución de probabilidad de la frecuencia de pedidos por empresa. De izquierda a derecha: Cooper Welding Electric, Cooper Mascotas y Cooper Diseños y Revestimientos.

¹⁷ En *Anylogic*, el valor de la tasa se recalcula cada vez que ocurre el evento. El *software* calcula la función de distribución acumulada, y en el intervalo de clase seleccionado genera un número aleatorio con una distribución uniforme dentro de la clase.

ii. *Lógica de funcionamiento de la generación de pedidos*

Ya definida la frecuencia con que ocurre la generación de pedidos en el modelo por cada empresa, es necesario ahora describir la lógica que sigue el modelo para generar un pedido y asignar sus atributos (cliente ordenante, artículos ordenados, valor, etc.).

El modelo sigue un algoritmo programado que es ejecutado en un instante dado cuando ocurre el evento de generación de pedidos. Este algoritmo se compone de la siguiente secuencia de instrucciones:

1. Selección del cliente ordenante: se determina el cliente ordenante mediante la ejecución de la función *randomTrue()*, cuyo argumento es la probabilidad de que al ser generada una orden, ésta pertenezca a un cliente en particular¹⁸. Esta función selecciona aleatoriamente un cliente dentro de la población de clientes de la empresa en cuestión¹⁹ y selecciona alguno de ellos dependiendo de su valor “fi”.

2. Determinación de la cantidad de artículos en la orden: En la sección II.3.3., definimos una distribución empírica para la cantidad de artículos que tiene una orden de pedido por cada empresa. Cada vez que se genera un pedido en el modelo, el valor de esta variable aleatoria es calculado y se fija la cantidad de artículos que poseerá dicha orden de pedido.

3. Selección de los artículos en la orden: Una vez fijada la cantidad de artículos en la orden, se procede a ejecutar una evaluación similar a la selección del cliente con la función *randomTrue()*. Sin embargo, esta vez el argumento de la función es el parámetro “fi” de los artículos²⁰. El proceso de

¹⁸ Anteriormente hemos definido esta probabilidad como el parámetro “fi” de cada cliente, que es un valor entre 0 y 1, donde la sumatoria de los “fi” de todos los clientes es igual a “1”.

¹⁹ Recordemos que cada empresa genera sus pedidos independientemente de las demás. De esta forma se garantiza que el cliente seleccionado pertenezca a la población de clientes de esa empresa en particular.

²⁰ Una vez más, cada empresa tiene asociada una población de artículos independiente de las demás. Si el pedido generado pertenece a un cliente de la empresa *Cooper Macotas*, la selección de artículos en el pedido se realiza para la población de artículos de *Cooper Mascotas* únicamente.

selección se repite en un bucle hasta alcanzar la cantidad de artículos en la orden fijada en el paso anterior.

4. Determinación de la cantidad ordenada por artículo seleccionado: Recordemos que cuando creamos las poblaciones de artículos en nuestro modelo definimos los parámetros “mediaOrden” y “desvOrden” para cada artículo²¹; estos dos parámetros se utilizan como argumentos de una distribución *normal truncada* dentro del modelo. La distribución es truncada a un límite inferior mayor a cero, para evitar cantidades negativas o iguales a cero de artículos ordenados. Este valor se determina por cada artículo que es incluido en el pedido.

5. Atributos finales del pedido: Ya seleccionados el cliente ordenante, los artículos en el pedido y sus cantidades ordenadas, se procede a calcular los atributos físicos del pedido: valor monetario de la orden, volumen de la orden (en CBM) y peso de la orden (en kg). El algoritmo lo calcula simplemente al multiplicar los precios, volumen unitario y peso unitario de los artículos en el pedido por sus cantidades ordenadas.

6. Envío del pedido al CD correspondiente: Finalizada la conformación del pedido, toda su información contenida es enviada al CD de trabajo al cual fue asignado el cliente en función de su cercanía por recorrido terrestre.

El código programado para este algoritmo en lenguaje Java puede ser accedido por el lector en el anexo IV.

II.4.5 Procesamiento de las órdenes de pedido en el CD

Una vez que un cliente emite una orden de pedido, ésta es recibida en su centro de distribución más cercano. El CD representa la parte más importante del sistema de distribución, en él se desarrollan los procesos de recepción, preparación y despacho de las órdenes.

²¹ Definidos como el promedio y la desviación de la cantidad ordenada de un artículo, a partir de las observaciones muestrales de las facturas históricas de cada empresa.

La ilustración 5. muestra la configuración del modelo de simulación de los procesos que ocurren dentro del CD. Esta parte del modelo corresponde a la típica estructura de simulación por eventos discretos. A continuación, explicaremos con detalle el desarrollo de eventos dentro de un CD.

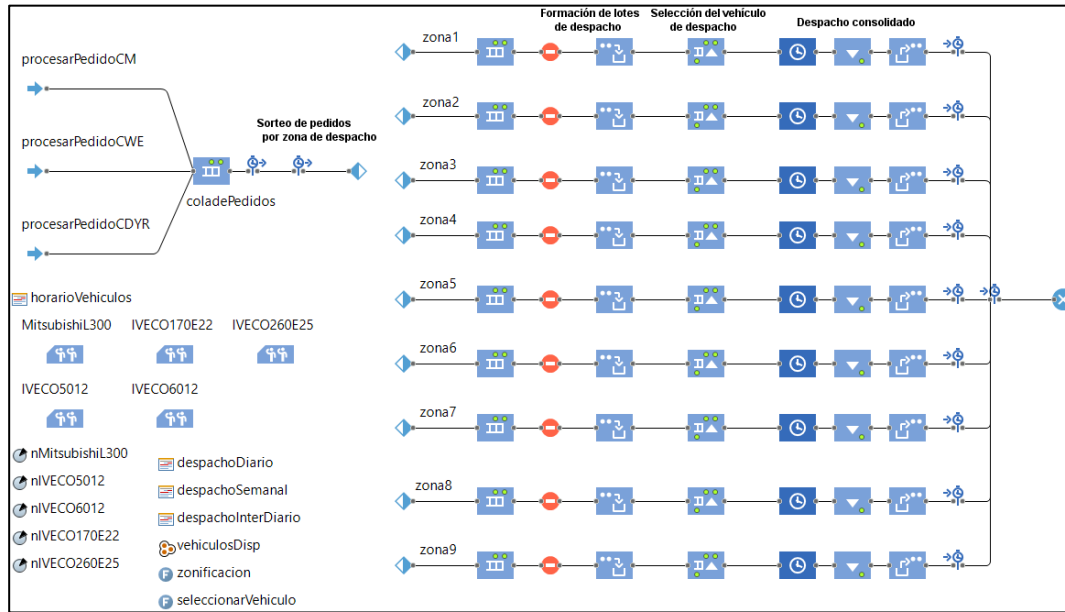


Ilustración 5. Esquema de procesamiento de las órdenes de pedido en el CD.

i. Recepción de las órdenes de pedido

Si observamos la ilustración 5., podemos apreciar que los pedidos ingresan al CD de forma independiente por cada empresa. De esta forma podemos mantener un contador del número de pedidos emitidos por cada una de ellas. El flujo es luego acumulado en una cola de pedidos donde ya no existe diferenciación por empresa. Esto permite que los despachos se puedan realizar de forma consolidada, en conformidad de lo que ocurre en la realidad del grupo de empresas.

ii. Agrupación de los pedidos por zona de despacho

Ya hemos indicado que la empresa planifica sus despachos según las nueve zonas de venta existentes. Esto hace necesario agrupar los pedidos según la zona de despacho en la cual se ubica el cliente ordenante. Para ello, el modelo

utiliza la función que hemos llamado *zonificacion()*; cuyo argumento es el pedido que atraviesa el nodo de “AgrupacionPorZona”. La función ubica al cliente ordenante y devuelve su zona de despacho correspondiente²². De esta forma los pedidos de todas las empresas empiezan a agruparse por zona, esperando instrucciones para ser despachados²³.

iii. Formación de lotes de despacho.

Después de ser separados por zona, los pedidos se van acumulando en una nueva cola esperando el momento programado de un despacho hacia dicha zona.

El departamento de operaciones de la empresa ha venido realizando un estudio del comportamiento de la recepción de pedidos por cada zona. Dicho estudio los ha llevado a asignar una frecuencia específica con la que se envía una unidad de vehículo a despachar a una zona determinada.

Zona	Descripción (resumida)	Frecuencia de despachos	Días de salida de vehículo
1	Valles del Tuy	Semanal	Lunes
2	Gran Caracas	Diaria	Lunes a viernes
3	Vargas	Semanal	Miércoles o jueves
4	Guarenas-Guatire	Semanal	Miércoles o jueves
5	Los Teques	Semanal	Miércoles o jueves
6	Aragua-Carabobo	Inter-diaria	martes y viernes
7	Lara-Zulia	Semanal	Lunes
8	Región Andina-Llano occidente	Semanal	Lunes
9	Oriente	Semanal	Lunes

Tabla 14. Programación semanal de despachos desde el CD de Charallave.

²² Para conocer la programación en lenguaje Java de la función de agrupación de pedidos por zona ver el anexo V.

²³ Nuestro modelo asume una disponibilidad ilimitada del inventario de productos. Los eventos de stock-out, generación de *backorders* no forman parte del interés de nuestra investigación.

La tabla 14. muestra la programación semanal de los despachos por zona en función de su frecuencia de despacho y su día de salida de un vehículo²⁴.

Llegado el momento de realizar un despacho a una de las nueve zonas, los pedidos acumulados son agrupados en un “lote de despacho”. Este lote de despacho es un nuevo agente con propiedades similares a las de un pedido singular, salvo que consolida los valores de todos los pedidos que lo conforman. Sus parámetros son:

Nombre del Parámetro	Tipo (Java o Anylogic)	Descripción
clientesEnDespacho	ArrayList (lista de agentes)	Colección de agentes del tipo "Clientes" que agrupa los clientes ordenantes de los pedidos en el lote con una lista del tipo <i>ArrayList</i> (Java).
valorDespacho	double (número racional)	Representa el valor monetario en bolívares de lote de despacho, obtenido a partir de la suma del valor monetario de cada pedido contenido en el lote.
pesoDespacho	double (número racional)	Peso en kilogramos del lote de despacho, obtenido a partir de la suma del peso individual de los pedidos contenidos en el lote.
cbmDespacho	double (número racional)	Volumen en metros cúbicos del lote de despacho, obtenido a partir de la suma del volumen individual de los pedidos contenidos en el lote.

Tabla 15. Parámetros de los lotes de despacho en el modelo de simulación.

El modelo está configurado para formar un lote de despacho de una zona determinada siguiendo el itinerario semanal antes descrito. El siguiente paso es seleccionar la unidad de vehículo que más se adecúe al lote de despacho formado.

iv. Selección de la unidad vehículo para el despacho.

Los metros cúbicos y el peso total de un lote despacho determinan qué unidad de vehículo es la más apropiada para la entrega. En el mundo real, hacer

²⁴ Recordemos que actualmente la empresa cuenta únicamente con el CD de Charallave. Esta programación de despachos sólo aplica bajo la condición de no existir ningún otro CD.

esta selección resulta bastante intuitivo; sin embargo, a efectos de un modelo de simulación, hacerlo deviene en una programación compleja.

En nuestro modelo, cuando un lote de despacho es creado se ejecuta la función *seleccionarVehiculo()*, cuyo argumento es el lote de despacho y su resultado es arrojar el vehículo más oportuno para la entrega en función de sus capacidades de peso y volumen máximo de carga²⁵. A *grosso modo* la función sigue la secuencia a continuación:

1. Identifica el número de unidades por modelo de vehículo disponibles en el CD.
2. Realiza iteraciones entre las unidades disponibles evaluando la condición de que el volumen y peso de despacho sea inferior a la capacidad en volumen y peso de carga de la unidad de vehículo. La iteración va desde el modelo de vehículo más pequeño hasta el modelo más grande.
3. La iteración se detiene en el primer modelo de vehículo donde el peso y volumen de despacho sea inferior a su capacidad de carga.
4. Una vez identificado el modelo de vehículo apropiado, evalúa si existen múltiples vehículos de ese modelo y aleatoriamente selecciona uno de ellos utilizando una distribución de probabilidad uniforme.

EL vehículo más grande (tipo gandola) tiene una capacidad de 37.013 cbm y 18,500.00 kg. En el caso de un lote de despacho que supere estas capacidades, será obligado a utilizar este vehículo. Esta condición forma parte de las suposiciones del modelo²⁶.

²⁵ Los tipos de vehículos con que cuenta la compañía, su cantidad y sus capacidades de carga fueron indicados anteriormente en la tabla 3.

²⁶ Para una lista de todas las suposiciones aplicadas al modelo, ver el anexo VIII.

El modelo está programado para que los vehículos no puedan estar disponibles para ser seleccionados durante los fines de semana, al igual que en la realidad de la situación de la empresa.

El código completo en lenguaje Java programado para realizar esta selección puede ser consultado en el anexo VI.

II.4.6 Entrega de las órdenes de pedido

Una vez que a una unidad de vehículo le es asignado un lote de despacho, inicia el proceso de entregar las órdenes a los clientes ordenantes de dicho lote. Esto implica que en un mismo viaje el vehículo realizará entregas a múltiples clientes de la zona de despacho. Conviene ahora describir el movimiento descrito por los vehículos en nuestro modelo de simulación.

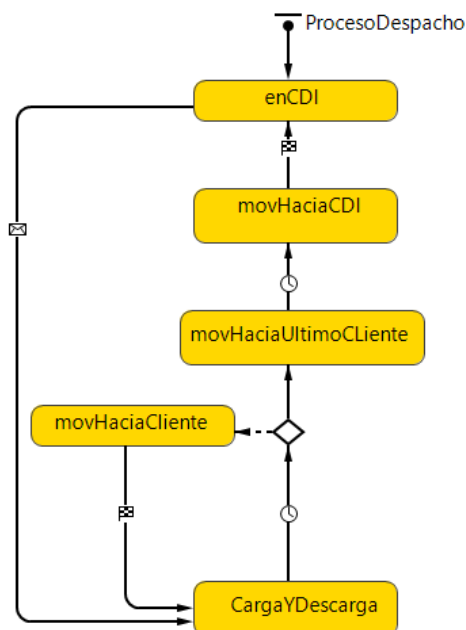


Ilustración 6. Gráfico de estado de los vehículos de la flota.

La ilustración 6. es un diagrama esquemático que representa el estado de un vehículo y las transiciones que rigen su cambio de ubicación de un lugar geográfico a otro.

Por defecto, los vehículos se encuentran en el CD al inicio de la corrida del modelo. Cuando les es asignado un lote despacho, lo reciben en forma de un mensaje que contiene la información del lote (clientes ordenantes, volumen y peso del despacho). Al recibir el mensaje se ejecuta la primera transición que los transfiere a un estado de carga/descarga. El vehículo estará en este estado hasta tanto se ejecute la siguiente transición que ocurre al cumplirse un tiempo de espera determinado. Dicho tiempo de espera está configurado para seguir una distribución triangular con un mínimo de 30 minutos, un máximo de 90 minutos y una moda de 45 minutos²⁷.

Una vez finaliza el tiempo de carga/descarga el vehículo ejecuta la siguiente transición donde es evaluado un nodo de decisión. En dicho nodo existen dos posibles salidas:

- la primera implica desplazarse al cliente más cercano geográficamente contenido dentro de la lista de clientes ordenantes.
- La segunda implica desplazarse hacia el último cliente que resta por ser visitado para recibir su pedido.

Cada vez que el vehículo pasa por el nodo de decisión se evalúa la condición: “¿el número de clientes pendientes que restan por entrega de pedido es igual a 1?”, si la condición es “verdadera” toma la segunda salida; en cualquier otro caso, toma la primera.

Al tomar la primera salida el camión pasa al estado de moverse hacia el cliente más cercano geográficamente²⁸. Su transición al siguiente estado se ejecutará una vez el vehículo arribe a su destino. Una vez que esto ocurre se

²⁷ El uso de esta distribución forma parte de las suposiciones del modelo. La razón es qué no existen registros de los tiempos y descarga en la empresa. Un total de 19 entrevistas fueron realizadas al personal operativo en el CD de Charallave, de ahí se obtuvieron estos valores aproximados de la distribución.

²⁸ En la sección de análisis de datos, apartado 4. se dio soporte a la utilización de una distribución triangular de mínimo 33 kph, máximo de 77 kph y una media de 56 kph para definir la velocidad de desplazamiento de los vehículos como una variable aleatoria del modelo.

elimina dicho cliente de la lista de “clientes ordenantes” del lote despacho, y, vuelve a ocurrir una nueva transición hacia el estado de carga/descarga. De esta forma se genera una especie de bucle donde cada iteración es un despacho al cliente más cercano al anterior, y a su vez, en cada iteración se va eliminado el cliente despachado de la lista de “clientes ordenantes”. Finalmente, una vez que quede un sólo cliente por ser visitado, la condición del nodo de selección se hace verdadera y se rompe el bucle. Al llegar al último cliente se ejecuta una última transición de tiempo de descarga y el vehículo inicia su recorrido de regreso al CD. Al llegar al CD el vehículo vuelve a estar disponible para realizar un nuevo despacho²⁹.

II.4.7 Indicadores de rendimiento del sistema de distribución

Para medir el rendimiento del sistema de distribución de la empresa escogimos 3 grupos de indicadores fundamentales, basados en los retrasos en la entrega, el tiempo de entrega como variable aleatoria y la utilización de la flota de vehículos de la compañía.

Anteriormente hemos indicado que la política de la empresa es contabilizar un retraso como aquellos pedidos que sean entregados pasados diez días después de su emisión por parte del cliente. Al ocurrir el retraso, se incurre en un costo por retraso equivalente al 30% del monto total del pedido.

i. Medición de los indicadores de retraso en las entregas.

Los clientes tienen su propio gráfico de estado que define aspectos importantes a efectos de la corrida del modelo

²⁹ Es importante resaltar que el movimiento de los vehículos en el modelo de simulación está restringido para ocurrir únicamente entre las 8:00 am y las 7:00 pm; con el objeto de cumplir con las políticas reales de la empresa de seguridad de tránsito de sus vehículos.

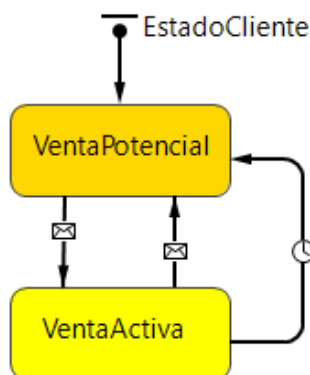


Ilustración 7. Gráfico de estado de los clientes en el modelo.

Al inicio de la corrida del modelo todos los clientes se encuentran en un estado de “venta potencial”, esto quiere decir que no tienen una orden de pedido pendiente por serles entregada, por tanto, tienen la posibilidad de emitir un pedido y enviarlo a su CD correspondiente.

Una vez que un cliente emite un pedido se ejecuta una transición hacia el estado de “venta activa”. En este momento el cliente pasa a tener un *fi* igual a cero (0)³⁰. Además, para efectos de animación del modelo, el cliente pasará a tomar un color amarillo mientras se encuentre en ese estado.

El cliente tiene dos formas de retornar a su estado de “venta potencial”. La primera de ellas es cuando recibe su despacho, la segunda, es una vez que transcurren 10 días desde que emitió su pedido y entró al estado de “venta activa”. Una vez que cualquiera de ambas transiciones ocurre, su valor original de *fi* y color es restaurado, y el cliente se encuentra nuevamente en posibilidad de volver a emitir un nuevo pedido.

³⁰ Recordemos que el *fi* es la probabilidad de que un pedido generado sea asignado a un cliente en particular. Mientras su valor es cero, el cliente no tiene posibilidad de emitir un pedido, impidiendo que en el modelo un cliente emita una orden sin haber recibido antes otra orden pendiente.



Ilustración 8. Clientes en estado de "Venta activa" con su animación en color amarillo.

Lo importante en este aspecto del modelo consiste en que, cada vez que ocurre el cambio de estado por medio de la transición correspondiente a la superación de los 10 días de entrega, se actualiza un grupo de variables de "indicadores" del modelo. Estas variables son:

Variable	Descripción	Valor de actualización (cada vez que se ejecuta la transición por retraso)
costoPorRetrasos	Valor acumulado en bolívares de las penalizaciones incurridas por facturas entregadas con retraso.	$\text{costoPorRetrasos} += (0.3 * \text{valorOrden});$
totalFacturasConRetraso	Número total de facturas que presentaron retrasos en la entrega.	$\text{totalFacturasConRetraso} += 1;$
proporcionRetrasosN	proporción del número de facturas con retraso respecto al total de facturas emitidas durante el período de simulación.	$\text{proporcionRetrasosN} = (\text{totalFacturasConRetraso} / \text{totalFacturas});$
proporcionRetrasosM	proporción del costo por retrasos incurrido respecto al total facturado (en unidades monetarias) durante el período de simulación.	$\text{proporcionRetrasosM} = (\text{costoPorRetrasos} / \text{totalFacturado});$

Tabla 16. Indicadores de rendimiento del sistema de distribución.

En paralelo, los retrasos generados son contabilizados por zona de despacho para poder identificar posibles zonas que se vean más afectadas que otras por esta causa.

ii. Medición del tiempo de entrega

El tiempo de entrega de una orden es una variable aleatoria cuya medición nos permite obtener información sobre un tiempo promedio de entrega global y discriminado por zona que puede resultar de gran utilidad en la planificación operativa de la empresa y los compromisos de venta adquiridos con los clientes. El objetivo de cualquier empresa es reducir este tiempo de entrega al mínimo posible.

En nuestro modelo existen diferentes medidores de tiempo que registran para cada pedido el tiempo en horas desde recepción del pedido en el CD hasta que el cliente recibe su entrega. Estos tiempos medidos son registrados en una tabla de datos sobre la cual se determinan sus estadísticos más básicos: valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad.

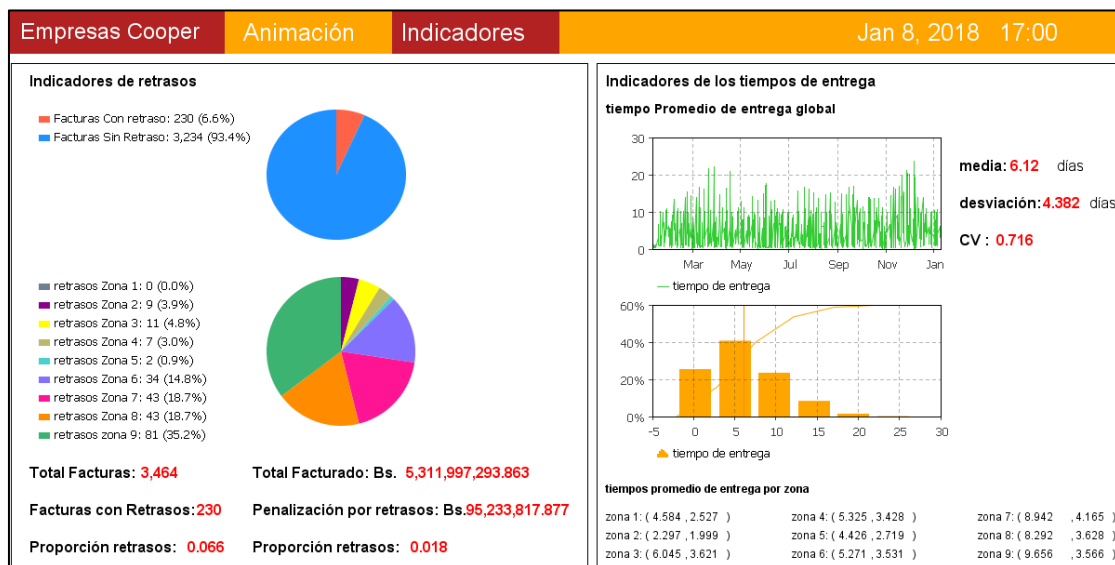


Ilustración 9. Visualización de los indicadores de retraso en el modelo.

Durante la corrida del modelo, estos estadísticos se van actualizando y podemos construir un histograma para conocer la distribución empírica del tiempo de entrega como variable aleatoria. La tabla de datos nos permite además medir los tiempos de entrega de forma independiente por zona de despacho.

La ilustración 9. representa una imagen referencial de la visualización de resultados de estos indicadores para una corrida específica del modelo.

iii. Medición de los indicadores de utilización de la flota de vehículos

La utilización de la flota de vehículos se encuentra definida como el tiempo total que pasa un modelo de vehículo determinado realizando despachos, respecto al tiempo total de la corrida de simulación³¹. Este es un indicador de gran utilidad para entender las causas que más influyen en la generación de retrasos en las entregas. La medición se realiza sobre los modelos de vehículos (IVECO 5012, Mitsubishi L-300, etc.) de forma general, y no sobre las unidades individuales de cada modelo.

Un alto valor de utilización para un tipo de vehículo determinado, sugiere que existen muchos lotes de despachos cuyas características físicas (peso y volumen) requieren de ese modelo de vehículo en particular; y por lo tanto, es muy probable que gran parte de los retrasos en las entregas ocurran debido a una insuficiencia de unidades del tipo de vehículo en cuestión. Una baja utilización indica que pocos lotes de despacho requieren de ese tipo de vehículo en particular, y por lo tanto tienen poca influencia sobre la generación de retrasos en el sistema.

Para ilustrar un ejemplo, imaginemos que, al correr el modelo por un tiempo determinado, la utilización del tipo de vehículos IVECO5012 (del cual se dispone de dos unidades), arroja un valor inferior al 30%. Esto nos lleva a sospechar que existen pocos lotes de despachos generados cuyo volumen y

³¹ $utilización = \frac{tiempo\ ocupado\ del\ recurso}{tiempo\ total\ de\ la\ simulación} \times 100\%$

peso requieran del uso de este modelo de vehículo, y por lo tanto podríamos realizar una nueva corrida eliminando una de las dos unidades disponibles y evaluar si existe un incremento en la proporción de retrasos. Si no existe incremento significativo, podríamos concluir que una de las dos unidades es prescindible y el activo podría ser vendido por la empresa y disponer de ese capital para otro uso.

En nuestro modelo los vehículos están representados como un “bloque de recurso” según el modelo del vehículo, lo cual permite a efectos del programa medir directamente su utilización con la función *vehiculo.utilization()*.

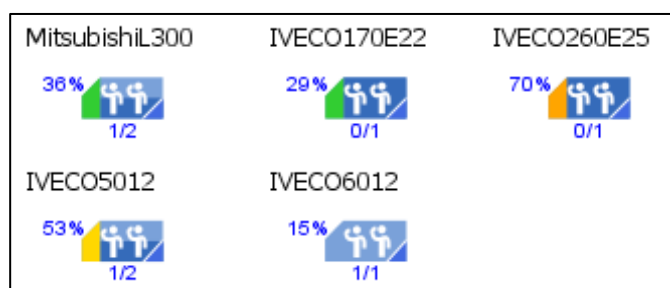
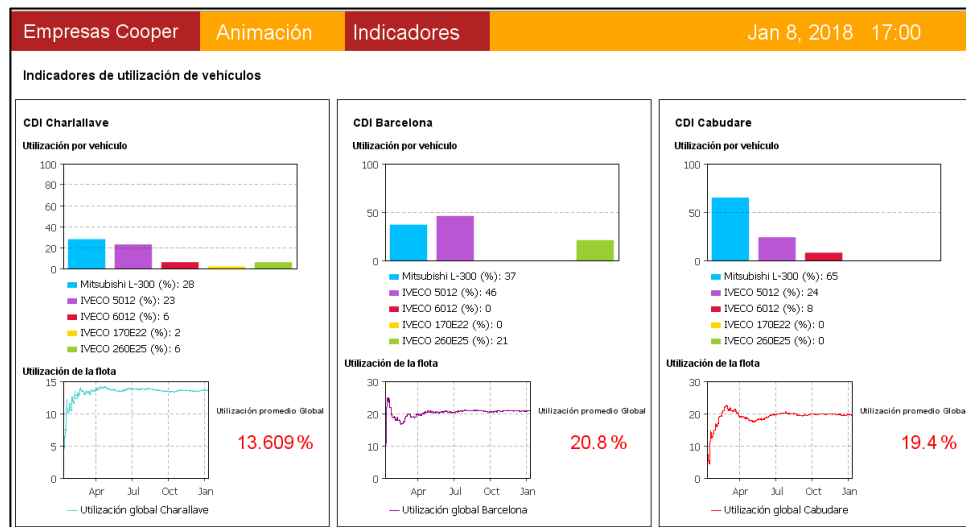


Ilustración 10. Utilización de la flota de vehículos durante una corrida del modelo.

Cuando existan múltiples CD en el modelo es importante diferenciar la utilización de la flota de vehículos entre cada uno de ellos, ya que, su frecuencia de despachos sería completamente distinta. Una medición de la utilización global promedio de la flota en el CDI es también un indicador relevante para realizar comparaciones.



La ilustración 11. muestra una representación referencial de cómo se visualizan los indicadores de utilización de vehículos durante la corrida del modelo.

II.4.8 Diseño experimental de la investigación. Parámetros de corrida del modelo de simulación

La sección experimental de nuestro modelo consiste en evaluar la variación de elementos fundamentales del sistema de distribución de la empresa, y comparar los indicadores arrojados de cada experimento con la situación actual. La inclusión de nuevos CD, el incremento o disminución de la flota de vehículos y las variaciones en la demanda – en número de pedidos –, sin duda tienen un impacto – positivo o negativo – en el rendimiento del sistema.

El objetivo fundamental de la investigación consiste en determinar qué escenarios planteados mejoran el rendimiento significativamente, de forma tal de poder elaborar propuestas y recomendaciones al grupo de empresas.

i. Inclusión de nuevos CD

La inclusión de nuevos centros de distribución en el sistema podría mejorar significativamente la situación actual de retrasos y disminuir el tiempo de

entrega, siempre y cuando estos sean incluidos en zonas estratégicas en el territorio nacional.

Todas las zonas, a excepción de las zonas 7, 8 y 9 (occidente y oriente del país) incurrir en viajes de ida y retorno en el mismo día. Las distancias hacia las zonas en la región oriental y occidental del país hacen que los viajes puedan tomar entre 3 y 5 días de duración de recorrido de las entregas, por esta razón los despachos hacia estas zonas se realizan solamente una vez a la semana³². La Gerencia operativa de la compañía considera que la inclusión de CDs en estas regiones tendrá un impacto positivo en el rendimiento del sistema, ya que permitirá realizar salidas diarias de vehículos con entregas hacia las zonas “lejanas” al CD actual de Charallave.

Siguiendo esta consideración, nuestro diseño experimental involucra la inclusión de un CD en ambas regiones.

- Para el Oriente del país (zona 9): Un CD ubicado en la zona industrial de Barcelona, Estado Anzoátegui.
- Para el Occidente del país (zonas 7 y 8): Un CD ubicado en la zona industrial de Cabudare, Estado Lara.

El modelo de simulación contempla la instalación de estos dos CD adicionales según el criterio fijado previo a una corrida experimental. Los nuevos CD instalados heredan la configuración del CD de Charallave, con la excepción de que únicamente se realizarán despachos a las zonas para las cuales el CD fue concebido. La frecuencia de despachos hacia las zonas surtidas por los nuevos CD cambia de una frecuencia semanal a una frecuencia de despacho diario.

Al incluir nuevos CD los clientes reconfiguran su parámetro *centroDist* que fija a cuál CD envían sus pedidos en función de su cercanía por vía terrestre. De

³² Ver la tabla 14. de programación actual de los despachos.

esta forma, un cliente ubicado en el estado Zulia (zona 7) que antes enviaba sus pedidos al CD de Charallave, ahora los enviará al CD de Cabudare.

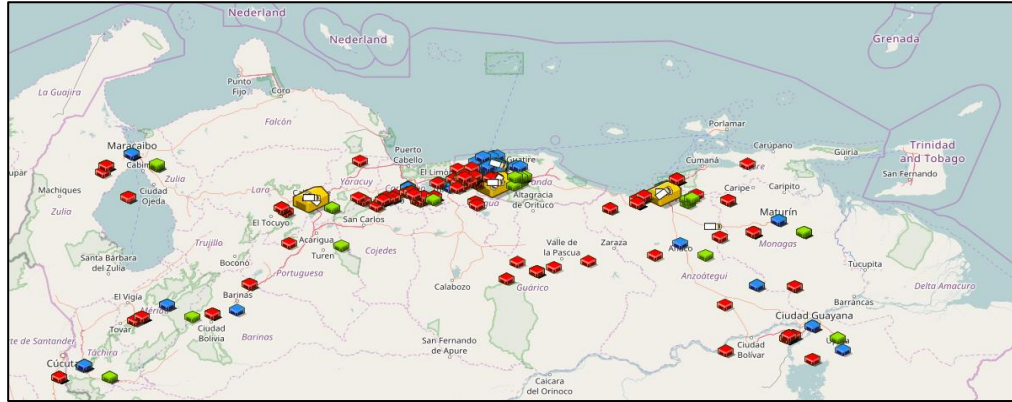


Ilustración 11. Inclusión en el modelo de nuevos CD en Barcelona y Cabudare.

ii. Variación en la flota de vehículos por CDI

El número de unidades de vehículo disponibles por CD para realizar entregas influye directamente sobre la eficiencia de las entregas en el sistema de distribución de la compañía, al ser el recurso utilizado para los despachos. Si partimos de esta premisa, agregar nuevos vehículos a la flota siempre tendrá un impacto positivo en el sistema. Sin embargo, los vehículos son activos fijos de la compañía que generalmente tienen un valor monetario de mercado elevado. Adquirir una unidad de vehículo puede resultar en una inversión importante para la compañía. Más aún, agregar vehículos de forma discrecional puede resultar en adquirir vehículos que tengan una muy baja utilización y, por lo tanto, tener un recurso ocioso que genera costos de mantenimiento y espacio innecesarios.

Parte de nuestro diseño experimental consiste en poder realizar variaciones en la cantidad de vehículos de un tipo determinado en cada CD, de forma tal que el usuario del modelo puede incluir nuevas unidades a un CD,

eliminarlas (vender) o trasladar alguna de las unidades preexistentes de un CD a otro³³.

iii. Variación del factor de frecuencia de emisión de pedidos

Las operaciones del grupo de empresa son dinámicas y están en constante evolución. En un corto período de tiempo, podrían desarrollarse situaciones que impacten el rendimiento del sistema de distribución de forma importante. Un incremento en las ventas, la ampliación de la cartera de clientes del grupo y una mejora en las condiciones macroeconómicas del país llevarían a un aumento de las operaciones de despacho de la compañía y podrían conducir a un colapso del sistema de distribución. De la misma manera, una reducción de las ventas y la desmejora en la economía nacional podría conllevar a utilidades muy bajas de las unidades de vehículos y a una necesidad de reducción del sistema de distribución.

Construir un modelo de simulación que no incorpore la posibilidad de ocurrencia de estos escenarios tornarse obsoleto en muy poco tiempo. Esta consideración nos llevó a incluir la existencia de un factor de frecuencia de emisión de pedidos que refleje la posibilidad de un incremento o reducción del número de órdenes emitidas por parte de los clientes.

El mecanismo de funcionamiento de este factor está relacionado con la tasa de frecuencia de pedidos definida en la sección “generación de las órdenes de pedidos” de la construcción del modelo³⁴, como una variable de distribución empírica que define el número de órdenes de pedidos que se emiten por empresa cada semana. Esta tasa de frecuencia de pedidos va multiplicada por un factor prefijado para tener el valor “1” y que puede variar en un rango de valores entre 0 y 2. Por ejemplo, si se desea simular un incremento del 15% en la frecuencia de pedidos del modelo, previo a la corrida se fija el factor en el valor 1.15 y este

³³ Por ejemplo, traspasar un vehículo de baja utilización en el CD de Charallave a uno de los nuevos CD en Cabudare o Barcelona.

³⁴ Ver sección “frecuencia de generación de pedidos” sección II.3.3.

multiplicará la tasa de frecuencia de emisión de pedidos incrementándola en un 15%. Con esta herramienta, la empresa podría actualizar el modelo según el desarrollo real de la empresa y jugar con los demás parámetros de agregar nuevos CD y unidades de vehículos.

Una interfaz previa a la corrida del modelo permite establecer estos parámetros de agregar un nuevo CD, definir el número de vehículos por tipo para cada CD y fijar el valor del factor de frecuencia de pedidos.

Debido a que la data utilizada para la construcción del modelo correspondió a los valores históricos de las variables del modelo en el período enero 2016 marzo 2017. Se estableció un tiempo de corrida del modelo de un año, desde enero 2017 hasta enero del 2018.

Modelo de despachos GIS ▶ **Correr modelo**

Agregar Nuevos CDI

☐ Agregar CDI Barcelona

☐ Agregar CDI Cabudare

Número de vehículos por centro de distribución

Centro de Distribución	Mitsubishi L-300	IVECO 260E25	IVECO 5012	IVECO 6012	IVECO 170E22
Charallave	2	1	2	1	1
Barcelona	2	1	2	1	1
Cabudare	2	1	2	1	1

Factor frecuencia pedidos

0 1 2

Modelo que simula los procesos de despacho de las unidades de negocio del Grupo de Empresas Cooper

Desarrollado por:
Christian Moller
Jesus Madrid

Empresas Cooper

Mayo 2017

Ilustración 12. Interfaz de parámetros de corrida del modelo de simulación.

El objetivo de nuestra tesis no consiste en obtener valores precisos a un nivel de confiabilidad establecido. Nos limitamos a preparar la metodología y diseño experimental mediante la evaluación de escenarios, y observar si existen mejoras del sistema. Por esta razón, se utilizó una única corrida para cada escenario experimental simulado. Una continuación de nuestra investigación debería considerar realizar múltiples corridas por escenario y hacer un análisis

estadístico para obtener valores precisos de los indicadores de gestión, y así poder realizar proyecciones para el grupo de empresas.

Para validar el modelo de simulación se compararon los resultados del escenario denominado “Situación actual”³⁵ con los resultados que se muestran en el *Informe de resultados 2016* de la empresa. Para ver en detalle el análisis de validación correspondiente, dirigirse al anexo IX.

II.5 Análisis de los resultados

Se realizaron simulaciones experimentales de distintos escenarios con variaciones en los parámetros “cantidad de vehículos” y “CD” disponibles. Cada uno de los escenarios simulados se modificó a consecuencia de los resultados obtenidos en el anterior, partiendo así de la situación actual. En seguida, se simularon dos escenarios para la situación actual y mejor configuración de parámetros cambiando la cantidad de vehículos y CDs disponibles, con variaciones en un parámetro adicional: frecuencia de pedidos.

II.5.1 Escenarios con variaciones en la cantidad de vehículos e inclusión de nuevos CD

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los escenarios simulados en el estudio, partiendo de la situación actual. Los resultados de los escenarios se pueden observar en el anexo X.

i. Escenario 0: Situación actual, CD en Charallave. 7 vehículos.

Los vehículos presentan una utilización en promedio del 44%. Los vehículos del tipo 5012 en conjunto presentan una utilización del 63.5%. Para efectos de crecimiento de la empresa, picos de demanda, o ausencia de algún vehículo a consecuencia de fallas o mantenimiento, la utilización de estos vehículos se puede ver afectada en gran magnitud, causando un posible colapso

³⁵ Ver sección II.5.1 Escenarios con variaciones en la cantidad de vehículos e inclusión de nuevos CD.

en la logística del sistema de distribución. En escenarios posteriores se simularán situaciones de este tipo.

La zona 9 (corresponde al Oriente del país) representa la mayor cantidad de retrasos, con 35.22% respecto al total de facturas con retraso. Por esta razón, esta zona debe ser tomada en cuenta para mejorar el nivel de servicio de los clientes que residen en dicha zona. A pesar de que los retrasos representan tan solo un 6.6% del total facturado durante el período simulado, se valoran en penalizaciones equivalentes a un monto total de 95 millones de bolívares, lo cual representa un alto costo para la empresa.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

ii. Escenario 1: CD en Charallave. Se agrega un vehículo del tipo 5012

En este escenario, a pesar de que el porcentaje de retrasos aumentó un 0.4%; el tiempo de entrega disminuyó a 5.75 días. Cabe destacar que, el leve aumento del porcentaje de retrasos puede ser consecuencia de la cantidad de facturas generadas en este escenario. Por esta razón, se puede observar un aumento notable en el monto equivalente a las penalizaciones por retrasos.

La utilización del vehículo del tipo 5012 disminuyó notablemente de 63.5% a 40.5%, mientras que la utilización de los demás vehículos disminuyó muy poco. En el caso del vehículo del tipo 260E25, la utilización aumentó de 58.9% a 67.5%. Esto implica que dicho vehículo tiene un papel importante en la logística de distribución de la empresa.

Por otro lado, la zona 9 (Oriente) permanece como la zona con más retrasos en la red de distribución. La zona 9 es atendida mayormente por el vehículo del tipo 260E25 debido a su alta capacidad de carga. De esta manera, cada retraso en esta zona corresponde a pedidos de montos altos, razón por la cual el impacto en las penalizaciones es importante.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

iii. Escenario 2: CD en Charallave. Se agrega vehículo del tipo 260E25.

Al agregar un vehículo del tipo 260E25 (vehículo con mayor capacidad de carga) se reducen notablemente los resultados globales referentes al valor de las penalizaciones por retrasos, porcentaje de retrasos. El tiempo de entrega se reduce muy poco, aunque su desviación disminuye en una unidad aproximadamente.

Por otro lado, la zona 9 dejó de ser la zona con más retrasos, mientras que la zona que requiere de mayor atención en este escenario corresponde a la zona 6 (Aragua y Carabobo). Ésta presenta retrasos equivalentes al 26% respecto al resto de las zonas.

El vehículo que presentó el mayor porcentaje de utilización corresponde al del tipo 5012, equivalente a 59.9%. Este alto porcentaje de utilización puede generar problemas en el sistema de distribución dado el caso en que uno de los dos vehículos de este tipo no esté operativo.

Se observa claramente en los escenarios anteriores que los 2 vehículos con mayor participación en la distribución de los pedidos corresponden a los del tipo 5012 y 260E25.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

iv. Escenario 3: CD en Charallave. Se agregan vehículos del tipo 5012 y 260E25.

Al agregar 2 vehículos, uno de cada tipo (5012 y 260E25), el porcentaje de retrasos, tiempo de entrega y su desviación no varían o disminuyen de manera insignificante. El monto de las penalizaciones aumentó en 7 MM Bs. lo cual puede ser consecuencia del monto de los pedidos con retraso en este determinado escenario.

El vehículo que presenta mayor utilización corresponde al del tipo 6012, mientras que la zona con más retrasos es la zona 7 (Lara y Zulia). Agregar un

vehículo del tipo 260E25 tiene efectos positivos importantes en los resultados globales. Agregar un vehículo del tipo 5012, debido a la naturaleza de los pedidos (volumen y peso), no tiene efectos significativos en la logística de distribución de la empresa.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

- v. *Escenario 4: Se agrega un CD adicional en Barcelona. Se transfiere un vehículo del tipo 5012 al nuevo CD.*

Una decisión “razonable” que podría tomar la Junta Directiva de la empresa sería transferir uno de los vehículos de los cuales se dispone de 2 unidades del mismo tipo al CD de Barcelona. Se procedió a evaluar un escenario donde se transfiere un vehículo del tipo 5012 al CD Barcelona.

Tanto los resultados globales como retrasos, tiempo de entrega y monto por penalizaciones aumentan drásticamente. De la misma manera, la utilización de los vehículos y retrasos por zona aumentan en gran magnitud.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

- vi. *Escenario 5: CD Charallave y CD Barcelona. Se agrega un vehículo del tipo 5012 al nuevo CD.*

Al agregar un solo vehículo al nuevo CD en Barcelona no trae efectos positivos significativos, de hecho, los resultados globales empeoran notablemente respecto a la situación actual. Los retrasos fueron del 12.6% y el monto por penalizaciones de 255 MM Bs.

Dado que, al agregar un CD en Barcelona, los clientes cercanos al mismo pasan a ser clientes exclusivos de dicho CD, el porcentaje de utilización del único vehículo disponible en este centro evidentemente tiene un valor considerablemente alto de 96.6%.

Estos resultados indican que no tiene sentido alguno agregar un nuevo CD si se pretende contar con tan solo un vehículo en la flota.

Se procede a evaluar un escenario con 2 vehículos para el nuevo CD en Barcelona.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

- vii. Escenario 6: CD Charallave y CD Barcelona. Se agregan 2 vehículos para CD Barcelona del tipo L300 y 5012 cada uno.*

Se evidencia una disminución notable en los resultados globales. El porcentaje de retrasos se redujo al 1.1%, el tiempo de entrega a 3.8 días (2.8 días menos que en la situación actual) con una desviación de 2.7 días. Las penalizaciones por concepto de retrasos disminuyeron de 95 a 14 MM Bs. respecto a la situación actual.

Los retrasos por zona disminuyeron notablemente, en algunos casos a cero. La zona que presenta mayor cantidad de retrasos corresponde a la zona 7 (Lara y Zulia) con 48.5%. A pesar de presentar un porcentaje de retrasos relativamente alto, los resultados globales son bastante buenos. Por esta razón, agregar otro vehículo llevaría prácticamente a cero los retrasos e implicaría una inversión adicional; por lo tanto, por el momento se procederá a evaluar otros escenarios enfocados al occidente del país.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

- viii. Escenario 7: CD Charallave y CD Cabudare. Se agrega vehículo del tipo 5012 para CD Cabudare.*

Al agregar un nuevo CD en Cabudare con un solo vehículo, los resultados son notablemente distintos a los del Escenario 5, donde se contaba con el CD Barcelona y un vehículo del tipo 5012 para el mismo.

A pesar de tener una configuración similar (nuevo CD con un solo vehículo); en este escenario los resultados globales son apreciablemente mejores que los del escenario 5, mejores incluso que la situación actual.

En este sentido, se entiende que el occidente del país presenta mayor criticidad en la logística de distribución de la empresa que el oriente. Sin embargo, este escenario no es favorable dado que, la utilización del vehículo 5012 equivale a un 98.7%, lo cual implica asumir un riesgo muy alto de incrementar los retrasos por cualquier factor que afecte el uso de dicho vehículo.

Los retrasos por zona en algunos casos disminuyeron a 0%. La zona 8 (Barinas y Mérida) presenta el mayor porcentaje de retrasos. De resto, los retrasos por zona son muy bajos, exceptuando la Zona 7 (Lara y Zulia), que al igual que la zona 8, pertenecen al occidente del país.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

ix. Escenario 8: CD Charallave y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos para CD Cabudare del tipo L300 y 5012 cada uno

Al agregar un vehículo más al CD Cabudare del tipo L300 los resultados obtenidos son los mejores entre los escenarios simulados. Estos resultados permiten validar la hipótesis expuesta en el escenario anterior: *“el occidente del país presenta mayor criticidad en la logística de distribución de la empresa que el oriente”*.

El porcentaje de retrasos disminuyó al 0.5% con un tiempo de entrega de 4.18 días y desviación de 3.3 días. Las penalizaciones por concepto de retrasos equivalen a 9 MM Bs.

La única zona con retrasos es la zona 9 (Oriente), que presenta 14 retrasos en un año. Dado que la zona 9 corresponde a clientes lejanos, los pedidos presentan altos montos en valor, lo cual se refleja en el vehículo 260E25 del CD Barcelona con 39.6% de utilización. En este sentido, cada retraso implica una penalización de alto costo monetario.

Es importante señalar que la utilización de los vehículos del CD Cabudare presentan valores altos (36.9% y 66.9%). Por esta razón, se debe considerar el

efecto que podría tener en la logística de distribución no disponer con uno de estos vehículos a consecuencia de fallas o mantenimiento.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

- x. *Escenario 9: CD Charallave, CD Barcelona y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos del tipo L300 y 5012 a cada CD.*

Para la configuración de los parámetros de este escenario se tomaron en cuenta los resultados de todos los escenarios simulados anteriormente. En este sentido, se obtuvieron resultados significativamente positivos.

Al agregar un CD en el oriente y occidente del país (Barcelona y Cabudare respectivamente) y 2 vehículos del tipo L300 y 5012 para cada uno, los resultados globales se redujeron notablemente respecto a la situación actual y escenarios planteados anteriormente.

El porcentaje de retrasos se redujo al 0.3%, el tiempo de entrega a 2.8 días con una desviación de 1.9 días. El monto por concepto de penalizaciones se redujo a 1.7 MM Bs.

Las zonas 6 (Aragua y Carabobo) y 9 (Oriente) son las únicas zonas con retrasos insignificantes equivalentes a 1 y 2 pedidos respectivamente.

Los porcentajes de utilización de los vehículos del CD Barcelona y CD Cabudare son considerablemente altos. En este sentido, se debe tomar en cuenta los efectos de posibles bajas en estos recursos.

Por otro lado, la utilización de los vehículos 170E22 y 260E25 (vehículos con mayor capacidad de carga) del CD Charallave presentan una utilización muy baja de 2.7% y 4% respectivamente. Dado que cada CD despacha pedidos sólo para los clientes que pertenecen a su zona, los vehículos de alta capacidad de carga pierden utilización. Los despachos pasan a ser en lotes pequeños y con mayor frecuencia.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

Por último, se procede a evaluar un escenario donde no se encuentren disponibles los 2 vehículos de mayor capacidad de carga, con el fin de evaluar su relevancia en el CD Charallave.

- xi. Escenario 10: CD Charallave, CD Barcelona y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos del tipo L300 y 5012 a cada CD. Se eliminan los vehículos del tipo 170E22 y 260E25 del CD Charallave.*

En este escenario no se presentó ningún retraso en ninguna zona del país. El tiempo de entrega es de 2.7 días con una desviación de 1.8 días.

En vista que cada CD distribuye los pedidos directamente a los clientes de sus zonas correspondientes, los vehículos de poca capacidad de carga son los más utilizados como se refleja en los porcentajes de utilización. Este caso no aplica para el CD Barcelona por el hecho de que los destinos que pertenecen a este CD requieren de rutas largas y, por ende, se acumulan más pedidos para ser despachados en el vehículo con mayor capacidad para este CD.

Es importante señalar que los porcentajes de utilización de los vehículos de los CD adicionales presentan valores altos que deben ser tomados en cuenta. Al salir de operación alguno de estos vehículos, podría tener efectos negativos o críticos en la zona del país correspondiente.

Se puede observar claramente que no es necesario contar con los vehículos de mayor capacidad (170E22 y 260E25), dado que, al disponer de un CD en oriente, occidente y sección central del país, los pedidos son despachados en lotes más pequeños y con más frecuencia. Esto se puede ver reflejado tanto en la utilización de los vehículos como en tiempo de entrega.

Para conocer los resultados de este escenario, dirigirse al anexo X.

II.5.2 Escenarios con variaciones en la frecuencia de pedidos:

A continuación, se presentan los resultados globales al aumentar progresivamente la frecuencia de pedidos para la situación actual:

i. *Escenario 11: Aumento progresivo de la frecuencia de pedidos para la situación actual.*

Factor frecuencia de pedidos	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2
Total de facturas	3.464	3.797	4.049	4.368	4.738	5.272	6.705
% Retrasos (retrasos/facturas)	6,60%	6,60%	13,10%	16,10%	20,50%	26,20%	32,20%
Tiempo entrega (días) (media)	6,12	5,90	7,34	7,92	8,83	15,57	31,8
Tiempo entrega (días) (desv.)	4,38	4,18	6,07	7,18	7,5	22,56	51,13
Tiempo entrega (días) (CV)	0,72	0,71	0,83	0,91	0,84	1,45	1,61
Penalización por retrasos (MM Bs.)	95	112,9	327,5	390,7	520,3	795,9	1200

Tabla 17. Resumen de resultados del escenario 11.

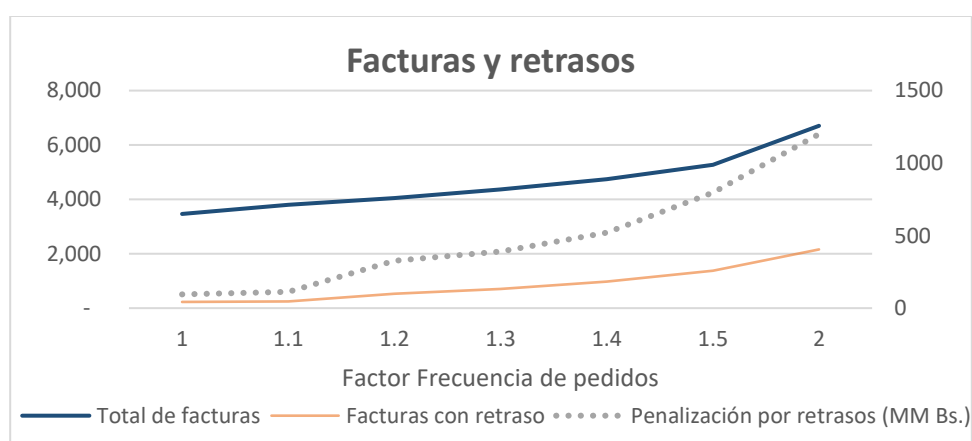


Ilustración 13. Comportamiento de los indicadores de rendimiento del sistema ante el incremento de la frecuencia de pedidos. (situación actual).

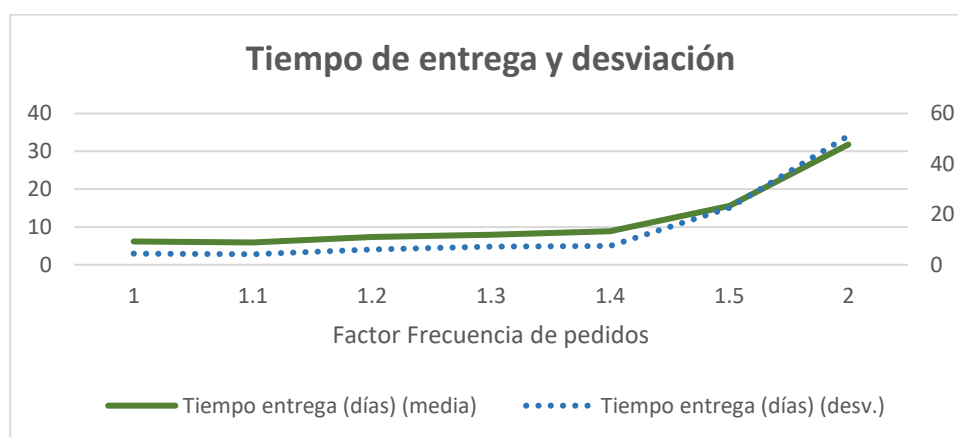


Ilustración 14. Comportamiento del tiempo de entrega y su desviación ante el incremento en la frecuencia de pedidos. (situación actual)

En los resultados obtenidos se puede observar el impacto que tiene un aumento de la frecuencia de pedidos. El aumento de las facturaciones es lineal

respecto a la frecuencia de pedidos, al igual que el porcentaje de retrasos. Sin embargo, el porcentaje de retrasos aumenta con mayor rapidez a medida que aumentan los pedidos.

Por otro lado, el tiempo de entrega presenta un aumento exponencial. Se mantiene relativamente estable por debajo de los 10 días hasta un aumento del 40% de la frecuencia de pedidos. A partir de un aumento del 40% de la frecuencia de pedidos, el tiempo de entrega aumenta exponencialmente, y además, se aprecia una mayor inestabilidad en el mismo, con un coeficiente de variabilidad superior a “1”.

ii. *Escenario 12: Aumento progresivo de la frecuencia de pedidos para la configuración de parámetros del Escenario 10*

Factor frecuencia de pedidos	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2
Total de facturas	3.376	3.815	4.082	4.438	4.811	5.125	6.666
% Retrasos (retrasos/facturas)	0,00%	0,60%	0,30%	4,70%	5,10%	11,60%	18,40%
Tiempo entrega (días) (media)	2,72	3,33	3,28	3,59	4,37	6,31	14,45
Tiempo entrega (días) (desv.)	1,75	2,44	2,31	3,06	4,14	8,76	26,64
Tiempo entrega (días) (CV)	0,64	0,73	0,71	0,85	0,95	1,39	1,84
Penalización por retrasos (MM Bs.)	0	6,9	4,1	47,5	128,5	350,4	770,1

Tabla 18. Resumen de resultados del escenario 12.

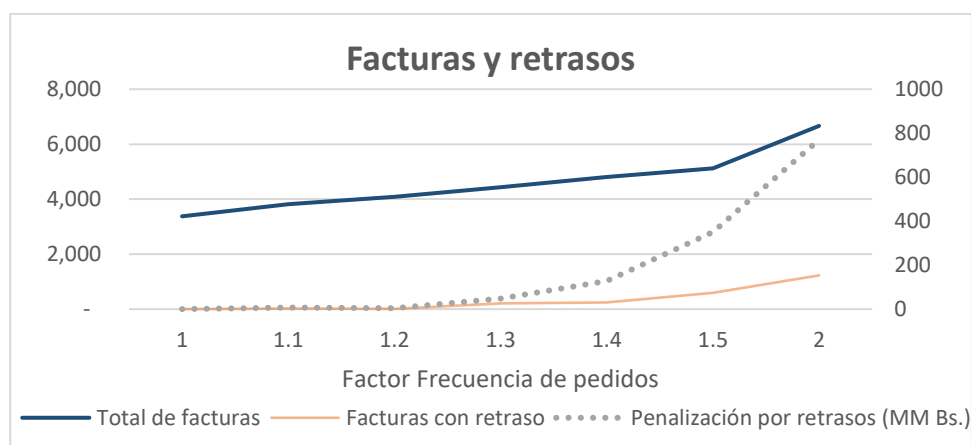


Ilustración 15. Comportamiento de los indicadores de retraso ante el incremento de la frecuencia de pedidos (mejor escenario planteado).

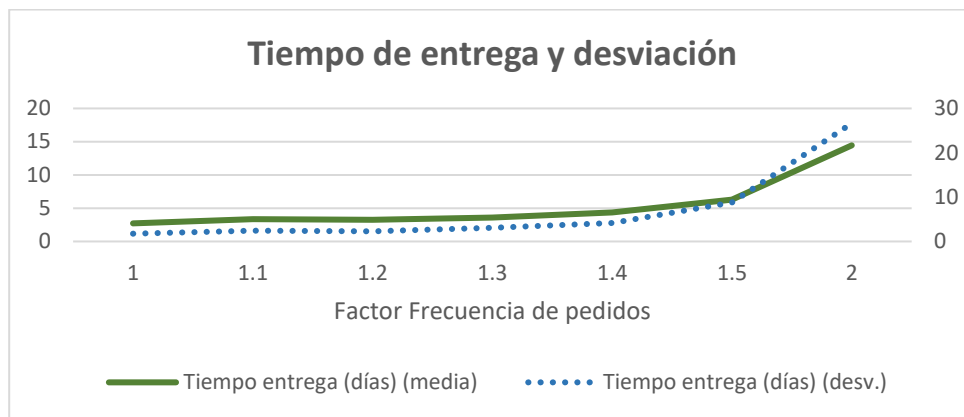


Ilustración 16. Comportamiento del tiempo de entrega y su desviación ante el incremento en la frecuencia de pedidos. (mejor escenario planteado).

Este escenario presenta resultados más sólidos ante un aumento de la frecuencia de pedidos. El porcentaje de retrasos se mantiene relativamente estable por debajo de 5% hasta un 40% de aumento de los pedidos. Para dicho aumento en los pedidos, las penalizaciones equivalen a 128.5 MM Bs.

El tiempo de entrega permanece por debajo de los 10 días hasta un aumento de aproximadamente de 70% de la frecuencia de pedidos, con un coeficiente de variabilidad inferior a “1”.

En este sentido, agregar un CD en Barcelona y Cabudare, con 2 vehículos del tipo L300 y 5012 cada uno, presenta una mejora considerable en el sistema de distribución de la empresa. Además, esta configuración de parámetros en el modelo presenta respuestas positivas ante aumentos de la frecuencia de pedidos de los clientes.

III. SECCIÓN FINAL

III.1 Conclusiones de la investigación

III.1.1 Conclusiones sobre la situación actual de la empresa

Los resultados demostraron que las zonas más afectadas por retrasos en las entregas son las zonas 7,8 (occidente) y 9 (oriente). Las demás zonas presentan bajos indicadores de retraso. Estos retrasos están explicados en el hecho que la duración del recorrido desde Charallave hacia estas zonas supera los 3 días de viaje; obligando que la programación de salida de vehículos hacia estas zonas sea de frecuencia semanal (una vez a la semana, todos los días lunes). Esta frecuencia de despacho implica una acumulación de pedidos mucho mayor que el resto de las zonas, lo que trae como consecuencia que los lotes de despacho hacia esas zonas tengan características de peso y volumen que hagan necesaria la utilización de los vehículos de la flota de mayor tamaño, cuya cantidad existente es limitada. El hecho que un lote de despacho deba esperar una semana completa en caso de que el vehículo requerido para su despacho no esté disponible es la causa principal de los retrasos generados.

Esta primera evaluación sugiere dos alternativas de mejora para la situación actual de la empresa: incrementar el número de unidades de los vehículos de mayor tamaño en la flota, o agregar nuevos CD para surtir estas regiones y que permitan una frecuencia diaria de despachos.

III.1.2 Conclusiones sobre la incorporación de nuevas unidades a la flota de vehículos

Los vehículos del modelo IVECO 5012 (capacidad de carga media) y el IVECO260E25 (alta capacidad de carga) tuvieron los valores de utilización más altos de la flota, por lo cual fueron evaluados los escenarios de incluir nuevas unidades de vehículos de estos modelos a la flota de camiones.

Al agregar una unidad del modelo 5012, no hubo un impacto significativo en la proporción de retrasos del sistema. Ya hemos concluido que la mayor cantidad de retrasos tienen ocurrencia en las zonas cuya frecuencia de despacho requiere de vehículos de alta capacidad de carga; por lo que el modelo 5012 no está siendo utilizado para realizar entregas a estas zonas.

Se puede concluir entonces que el incluir una unidad del modelo 5012, aliviará la situación de despachos en las zonas que, de por sí, no representan la mayoría de retrasos, y no necesariamente aliviará los retrasos incurridos en el oriente y occidente del país.

Por otro lado, la incorporación de una unidad del modelo 260E25 (alta capacidad de carga) resultó en una mejora notable de los indicadores de retraso del sistema. Esto refuerza la conclusión de que los despachos hacia las zonas más lejanas requieren del uso de vehículos de alta capacidad de carga y tener una sola unidad de este modelo no es suficiente para evitar los retrasos hacia estas zonas.

Incorporar una unidad del modelo 260E25 a la flota de vehículos del CD de Charallave reducirá en 3.6% la proporción de retrasos, le ahorrará a la empresa un valor cercano a los 60 millones de bolívares.

III.1.3 Conclusiones sobre la instalación de nuevos centros de distribución

i. Transferencia de vehículos desde Charallave hacia otro CD.

Al incluir un nuevo CD en el sistema de distribución, la compañía podría tomar la decisión de transferir una unidad de los modelos L-300 y 5012 (de los cuales se poseen dos unidades por cada uno) con el objetivo de ahorrarse la inversión de adquirir nuevos vehículos para los nuevos CD instalados, sin conocer el impacto que podría tener esta decisión sobre la eficiencia en las entregas en las zonas asistidas por el CD de Charallave.

La simulación permitió demostrar el grave impacto que esta decisión tendría sobre los indicadores de retrasos y del tiempo promedio de entrega. Si se eliminan unidades de vehículo del CD de Charallave la proporción de retrasos aumentaría a 40.8%, los costos por retrasos pasarían de estar en el orden de los 100 millones de bolívares a más de Bs. 700 MM. Además, el tiempo promedio de entrega aumentaría de 6.12 a 18.9 días, y el coeficiente de variación aumenta a más de 1.18, indicando una gran inestabilidad del sistema.

ii. Si se agrega solo un nuevo CD, ¿cuál es la mejor opción: Cabudare o Barcelona?

Los resultados experimentales indican que agregar el CD de Cabudare disminuye de forma más significativa los indicadores de retraso y tiempos de entrega que agregar el CD de Barcelona.

La región oriental del país tiene mayor volumen de pedidos que la región de occidente. Agregar el CD de Barcelona implica tener suficientes unidades de despacho para realizar las entregas a tiempo. Al agregar el CD de Cabudare se está liberando la carga de despachos hacia el occidente del país desde Charallave, y el vehículo de mayor capacidad (260E25) de este centro estará disponible para realizar los despachos en la zona de oriente; eliminando el conflicto entre ambas regiones por el uso de este vehículo. Esto permite reducir considerablemente los retrasos en el oriente del país, al tiempo que el occidente es atendido por el nuevo CD en Cabudare.

Esta configuración permite reducir la proporción global de retrasos a 0.5% (apenas 14 facturas con retraso) y los costos por retrasos disminuyen a apenas unos 9 millones de bolívares. El tiempo de entrega promedio se reduce a 4.18 días.

iii. Cantidad mínima de vehículos requeridos para un nuevo CD.

Agregar un nuevo CD para el occidente u oriente del país, implica que las zonas a las que servirá el nuevo CD dejarán de ser atendidas por el CD en Charallave. Por esta razón, es importante que al agregar un nuevo CD se incorpore un número mínimo de vehículos que garanticen la eliminación de retrasos hacia esas zonas.

Los resultados experimentales indican que la flota de vehículos del nuevo CD debe poseer al menos dos unidades para obtener mejoras en el sistema de distribución. Los resultados también demuestran que los vehículos en los nuevos CD deben ser preferiblemente de pequeña y mediana capacidad de carga, debido a que el incremento en la frecuencia de despachos hacia sus zonas de servicio (de frecuencia semanal a despachos diarios) reduce el tamaño de los lotes de despacho. Agregando los modelos L-300 y 5012 al nuevo CD resulta suficiente para observar mejoras en los indicadores de retrasos y tiempos de entrega.

iv. Consideraciones sobre la inclusión de ambos CD: Barcelona y Cabudare

Al agregar ambos centros de distribución al sistema, los indicadores de retraso y tiempos de entrega muestran los mejores resultados respecto a los escenarios anteriores. La proporción de retrasos disminuyó a 0.3% (apenas 3 facturas con retraso), el tiempo de entrega se redujo a más de la mitad respecto a la situación actual (2.79 días en promedio), con una desviación de 1.92 días y un coeficiente de variación de 0.69. Las penalizaciones por retrasos pasarían de Bs. 95 MM a tan solo Bs. 1.7 MM.

Para este escenario la utilización de los vehículos de modelo 170E22 y 260E25 es de apenas 2.7 y 4% respectivamente, lo que indica que los vehículos de gran capacidad dejan de ser importantes para el CD de Charallave si existen los nuevos CD. Si Charallave asiste únicamente la región central del país cuyas

frecuencias de despacho son diarias e inter-diarias a estas zonas, no requerirá de vehículos de alta capacidad de carga. El escenario que evalúa la inclusión de los nuevos CD y elimina de la flota de vehículos de Charallave los vehículos de alta capacidad de carga, no presentó incrementos de ningún tipo en los indicadores de retraso. Esto nos lleva a concluir que, si la gerencia decide instalar los dos nuevos centros de distribución al mismo tiempo, podría prescindir de los vehículos del tipo 170E22 y 260E25.

v. *Impacto del aumento de la demanda en el sistema de distribución.*

Los escenarios con variaciones en el factor de frecuencia de pedidos señalaron como un incremento superior al 20% de la frecuencia de pedidos de la empresa, puede ocasionar costos por penalización de retrasos superiores a los 300 millones de bolívares. Bien sea por aumento de la cartera de clientes o una mejora en las condiciones macroeconómicas del país que influya en el volumen de órdenes de pedido por parte de los clientes del grupo, los recursos actuales del sistema de distribución de la empresa resultarían insuficientes para mantener los niveles de servicio al cliente esperados.

La inclusión de los centros de distribución de Barcelona y Cabudare de forma simultánea presentó los mejores valores de los indicadores de retraso y tiempos de entrega. Al someter esta configuración del sistema de distribución a incrementos progresivos de la frecuencia de pedidos, se logró demostrar que la empresa podría manejar hasta un incremento del 40% en su volumen de pedidos, y aun así mantendría mejores indicadores de retraso que la situación actual. Esto quiere decir que la propuesta de incluir dos nuevos CD es una propuesta ideal si la compañía tiene proyecciones de crecimiento importantes en los próximos años.

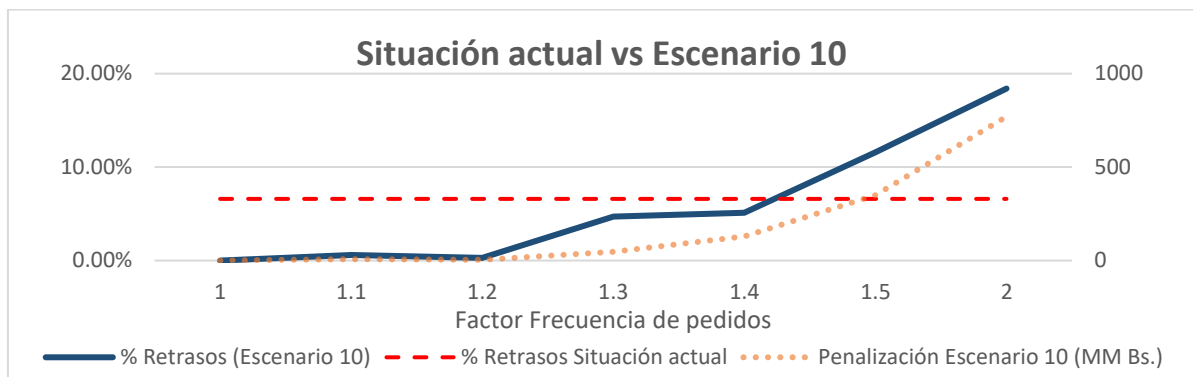


Ilustración 17. Comparación de la situación actual vs el mejor escenario.

III.2 Propuesta de mejora del sistema de distribución del grupo de Empresas Cooper.

En cumplimiento del objetivo general del presente trabajo de investigación se presenta a continuación el conjunto de propuestas para mejorar el rendimiento del sistema de distribución del grupo de empresas Cooper.

III.2.1 Primera alternativa de mejora

Como primera alternativa de mejora para la empresa se propone adquirir una unidad adicional del modelo 260E25. Con esta adquisición, se puede mejorar el nivel de servicio en las zonas lejanas al CD de Charallave. Además, es la alternativa que implica un menor esfuerzo de ejecución y su implementación es bastante inmediata.



Ilustración 18. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la primera alternativa de mejora.

Esta alternativa generaría a la empresa un ahorro aproximado de Bs. 60 MM (no ajustado por inflación) por concepto de penalizaciones por retrasos. Este monto puede ser tomado como referencia para el máximo de inversión en el nuevo recurso.

III.2.2 Segunda alternativa de mejora

La segunda alternativa de mejora para la empresa implica instalar un nuevo centro de distribución en la ciudad de Cabudare, Edo. Lara, en conjunto con la adquisición de dos unidades de los modelos L300 y 5012 para dicho CD.

Esta alternativa generaría a la empresa un ahorro aproximado de Bs. 86 MM (no ajustado por inflación) por concepto de penalizaciones por retrasos. De igual manera, este monto puede ser tomado como referencia para el máximo de inversión en el proyecto que contempla, tanto la instalación del centro de distribución como la adquisición de los 2 vehículos.



Ilustración 19. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la segunda alternativa de mejora.

III.2.3 Tercera alternativa de mejora

Por último, la tercera alternativa de mejora para la empresa implica la instalación de 2 nuevos centros de distribución en el oriente y occidente del país, en Barcelona, Edo. Anzoátegui y Cabudare, Edo. Lara respectivamente.

Además, se debe adquirir 2 vehículos de los modelos L300 y 5012 para cada uno de los centros de distribución, con el propósito de satisfacer únicamente a las zonas cercanas.

Esta alternativa permite colocar en venta los 2 vehículos de mayor capacidad del CD Charallave debido a la baja utilización que presentarían. El dinero obtenido en esta venta se podría utilizar para cubrir parte de los costos que implican aplicar esta alternativa.

Por otro lado, esta alternativa es la que garantiza el mejor nivel de servicio para los clientes por concepto retrasos y tiempo de entrega, reduciendo la proporción de retrasos a 0.0% y el tiempo de entrega 2.72 días con una desviación de 1.75 días. El costo total producto de aplicar la tercera alternativa no debe superar Bs. 95 MM (no ajustado por inflación) de ahorros generados respecto a la situación actual correspondientes a las penalizaciones por retrasos.

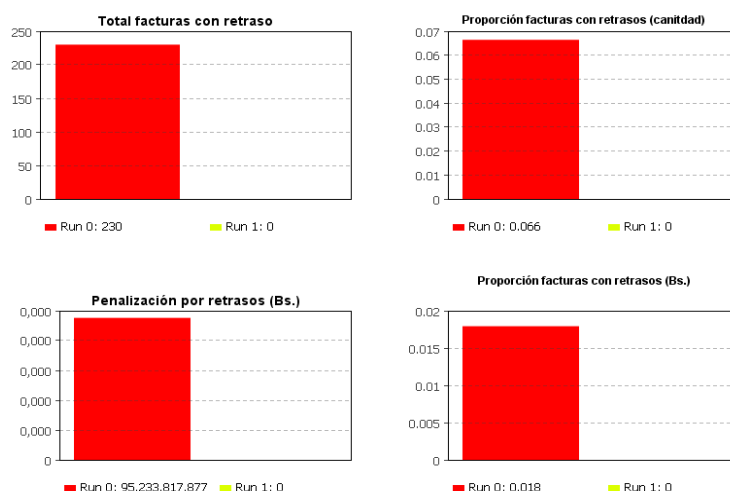


Ilustración 20. Comparación de los indicadores de rendimiento principales, entre la situación actual y la tercera alternativa de mejora.

III.2.4 Recomendaciones

A fin de decidir sobre alguna de las tres propuestas presentadas, recomendamos a la directiva del grupo de empresas tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Hacer una revisión de la política de penalizaciones por retrasos de la empresa, con el fin de determinar el costo real incurrido en estos casos.

Para los autores de este trabajo, aplicar un 30% del valor de la factura de forma discrecional pareciera ser exagerado.

2. Ante las propuestas que involucran la inclusión de un nuevo centro de distribución, considerar la necesidad de abastecimiento de mercancía en estos centros que actúan como *crossdockers*.
3. Realizar un análisis de costo-efectividad de cada una de las propuestas presentadas, ya que podrían generar mejoras en el rendimiento del sistema de distribución y no necesariamente ser rentables financieramente para la empresa.
4. Mejorar en un futuro el modelo de simulación, para incorporar la indisponibilidad de vehículos por eventos aleatorios y planificados de mantenimiento.

III.3 Referencias bibliográficas

- Borschev, A. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling*. Huntington Beach, CA: Winter Simulation Conference.
- *Asamblea Nacional República Bolivariana de Venezuela// INPCAN*. (2017). *Asambleanacional.gob.ve*. Recuperado el 10 de junio de 2017, de <http://www.asambleanacional.gob.ve/>
- "How Fruit Of The Loom Saved 20% On Shipping Cost". Anylogic. N.p., 2017. Recuperado el 2 de Marzo 2017. <https://anylogic.com/blog/fruit-of-the-loom-fotl-one-of-the-largest-us-apparel-manufacturers-was-expanding-its-product-line-in/>
- "Informe de resultados 2016", Enero 2017. Grupo de Empresas Cooper. Recuperado el 1 de Marzo, 2017.
- Grigoryev, I. *AnyLogic 7 in three days* (1st ed.). The Anylogic Company, San Petersburg, 2016.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.
- Velez, L. V. (2015). La investigación cualitativa. Recuperado el 13 de junio de 2017, de <http://www.ponce.inter.edu/cai/Comite-investigacion/investigacion-cualitativa.html>
- García, J. C., & Martínez, M. R. (2008). *Metodología de la Investigación I*. Recuperado el 13 de junio de 2017, de <http://www.ponce.inter.edu/cai/Comite-investigacion/investigacion-cualitativa.html>
- Halliburton, Chris, Prof, and Adina Poenaru. "The Role of Trust in Consumer Relationships". Pitney Bower Mailing and Software Solutions, ESCP European Business School, 2010, <http://www.pitneybowes.co.in/docs/International/UK/software/pdf/white-papers/The-Role-Of-Trust-In-ConsumerRelationships-WP.pdf>.
- Murphy, Lau. "ASTM International - Standards Worldwide - Manejo De Valores Atípicos". Astm.org. N.p., 2008. Recuperado el 17 de Junio de 2017 de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.html
- The Anylogic Company. Anylogic 8.1.0. <https://anylogic.com/>

ANEXOS

Anexo I: Histogramas de frecuencia relativa para la distribución de probabilidad empírica de la tasa de generación de órdenes de pedido

1. Cooper Mascotas, C.A

Histograma de frecuencia - Facturaciones por semana

Clase	Obs. Acum.	Obs.	Prob.
0	4	3	0,05
5	8	4	0,06
9	12	7	0,11
13	16	4	0,06
17	20	9	0,15
21	24	13	0,21
25	28	8	0,13
29	32	3	0,05
33	36	3	0,05
37	40	3	0,05
41	44	0	0,00
45	48	1	0,02
49	52	2	0,03
53	56	0	0,00
57	60	1	0,02
61	64	0	0,00
65	68	0	0,00
69	72	1	0,02

Tabla 19. Histograma de frecuencia relativa de la tasa de generación de pedidos de Cooper Mascotas, C.A.

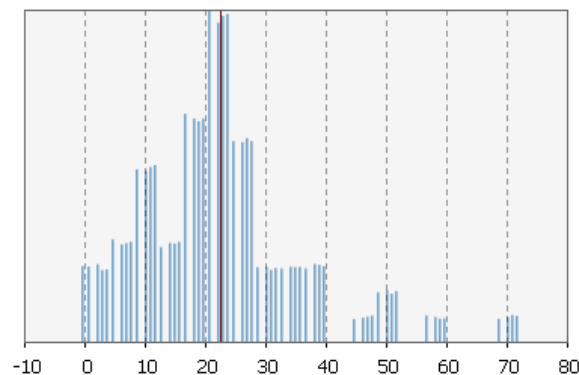


Ilustración 21. Histograma de frecuencia relativa de la tasa de generación de pedidos de Cooper Mascotas, C.A.

2. Cooper Welding Electric, C.A

Histograma de frecuencia - Facturaciones por semana

Clase		Obs. Acum.	Obs.	Prob.
0	4	3	3	0,05
5	8	6	3	0,05
9	12	7	1	0,02
13	16	11	4	0,07
17	20	11	0	0,00
21	24	12	1	0,02
25	28	13	1	0,02
29	32	16	3	0,05
33	36	22	6	0,10
37	40	25	3	0,05
41	44	31	6	0,10
45	48	38	7	0,12
49	52	42	4	0,07
53	56	49	7	0,12
57	60	52	3	0,05
61	64	53	1	0,02
65	68	55	2	0,03
69	72	57	2	0,03
73	76	58	1	0,02
77	80	58	0	0,00
81	84	59	1	0,02
85	88	59	0	0,00
89	92	60	1	0,02

Tabla 20. Histograma de la tasa de generación de pedidos para Cooper Welding Electric, C.A

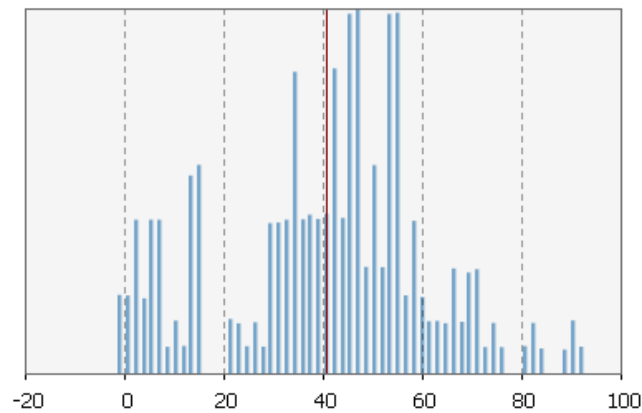


Ilustración 22. Histograma de la tasa de generación de pedidos para Cooper Welding Electric, C.A.

3. Cooper Diseños y Revestimientos, C.A

Histograma de frecuencia - Facturaciones por semana

Clase		Obs. Acum.	Obs.	Prob.
0	4	42	42	0,69
5	8	55	13	0,21
9	12	58	3	0,05
13	16	58	0	0,00
17	20	60	2	0,03
21	24	61	1	0,02

Tabla 21. Histograma de la tasa de generación de pedidos de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.

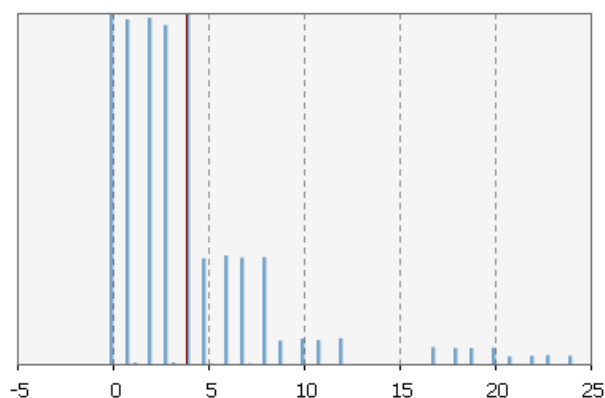


Ilustración 23. Histograma de la tasa de generación de pedidos de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.

Anexo II: Histogramas de frecuencia relativa para la cantidad de artículos por factura

1. Cooper Mascotas, C.A

Histograma de frecuencia - Artículos por pedido

Clase		Fi	fi	Prob.
1	4	854	854	0,49
5	8	1279	425	0,25
9	12	1582	303	0,18
13	24	1727	145	0,08

Tabla 22. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Mascotas, C.A

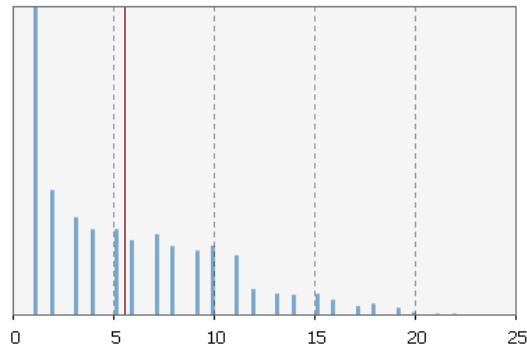


Ilustración 24. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Mascotas, C.A

2. Cooper Welding Electric, C.A

Histograma de frecuencia - Artículos por pedido

Clase		Fi	fi	Prob.
1	4	2043	2043	0,75
5	8	2526	483	0,18
9	20	2722	196	0,07

Tabla 23. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Welding Electric, C.A.

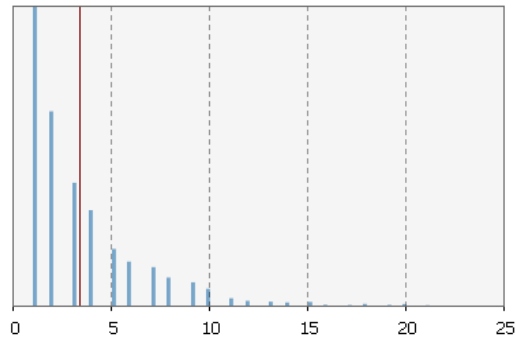


Ilustración 25. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Welding Electric, C.A.

3. Cooper Diseños y Revestimientos, C.A

Histograma de frecuencia - Artículos por pedido

Xi	Fi	fi	Prob.
1	184	184	0,68
2	222	38	0,14

3	237	15	0,06
4	251	14	0,05
5	262	11	0,04
6 - 7	266	4	0,01

Tabla 24. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Cooper Diseños y Revestimientos, C.A.

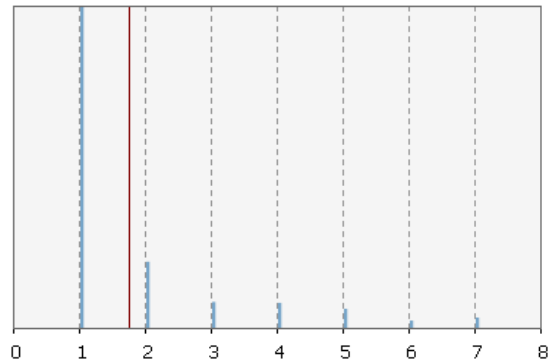
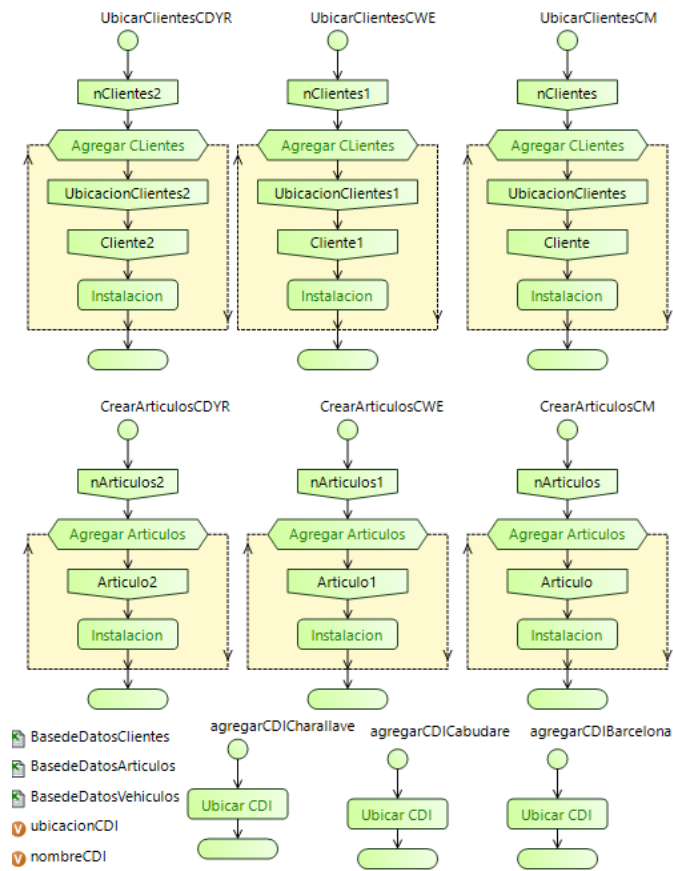


Ilustración 26. Histograma de frecuencia para la cantidad de artículos por factura de la empresa Diseños y Revestimientos, C.A.

Anexo III: Creación e instalación de Centros de distribución, clientes y artículos en el modelo de simulación

La creación de artículos, clientes y centros de distribución, ocurre al momento de la inicialización del modelo por una serie de códigos ejecutables escritos en lenguaje Java.



Inicialización del modelo

Ilustración 27. Diagramas de ejecución de códigos de inicialización del modelo.

Las bases de datos de clientes y artículos con sus parámetros prefijados (ej. Precios para los artículos y dirección para los clientes), se encuentran en un archivo de Microsoft Excel. El *software* de simulación permite la integración de la hoja de cálculo con el modelo, para realizar iteraciones sobre la base de datos de clientes y crear el agente.

La ilustración 28 muestra de forma esquemática los siguientes códigos ejecutados en cada iteración de la base de datos.

1. Creación de los Centros de Distribución:

El ejemplo muestra la instalación del centro de distribución de Charallave. Para los demás CD se utiliza el mismo código, con referencia a variables distintas.

```
ubicacionCDI = "Urbanización Los Samanes, Charallave" ; // ubicación del
centro de distribución
nombreCDI = "Charallave"; // nombre del centro de distribución.
L300 = nL300CHAR; //número de vehículos en el CD del modelo L-300.(vinculado
a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
I5012 = n5012CHAR; //número de vehículos en el CD del modelo 5012.
.(vinculado a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
I6012 = n6012CHAR; //número de vehículos en el CD del modelo 6010.
.(vinculado a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
I170E22 = n170E22CHAR; //número de vehículos en el CD del modelo 170E22.
.(vinculado a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
I260E25 = n260E25CHAR; //número de vehículos en el CD del modelo 260E25.
.(vinculado a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
add_cdis(); // inclusión del centro distribución en la población del modelo.
.(vinculado a la interfaz del usuario para su fijación previa a la corrida).
```

2. Creación e instalación de clientes:

El ejemplo a continuación muestra la instalación de la población de clientes de la empresa *Cooper Mascotas*. Para las demás empresas se utiliza el mismo código, con referencia a variables distintas.

```
map.setSearchBounds(7.6, -74, 12.22, -60); // coordenadas geográficas de
operación del modelo.

GISPoint gisPoint = map.searchFirst( UbicacionClientes ); //búsqueda de la
ubicación geográfica del cliente
Cliente.setLocation( gisPoint ); // instalación del cliente en su ubicación
geográfica.
Cliente.fi = BasedeDatosClientes.getCellNumericValue("ClientesCM", i, 8); //
establecimiento de la frecuencia de generación de pedidos del cliente (fi)
Cliente.Empresa = BasedeDatosClientes.getCellStringValue("ClientesCM", i, 1);
// Determinación de la empresa del grupo a la que pertenece el cliente.
Cliente.ID = BasedeDatosClientes.getCellNumericValue("ClientesCM", i, 2); //
código de identificación del cliente.
Cliente.zonaDespacho = BasedeDatosClientes.getCellNumericValue("ClientesCM",
i, 6); // zona de despacho del cliente según las 9 zonas de despacho de la
empresa.
Cliente.centroDist = Cliente.getNearestAgentByRoute( cdis ); // Selección del
centro de distribución más cercano al cliente.
    Cliente.buscarfi = i; // variable auxiliar.

add_clientesCM(Cliente); // inclusión del cliente en la población de clientes.
```

3. Creación de artículos:

El ejemplo a continuación muestra la creación de artículos para la empresa *Cooper Mascotas*. Para las demás empresas se utiliza el mismo código, con referencia a variables distintas.

```
Articulo.Empresa = BasedeDatosArticulos.getCellStringValue("ArticulosCM",i,1)
Articulo.ID = BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,2);
Articulo.CBM = BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,6);
Articulo.Peso = BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,7);
Articulo.Precio =
BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,8);
Articulo.fi = BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,10);
Articulo.mediaOrden =
BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,11);
    Articulo.desvOrden                                     =
BasedeDatosArticulos.getCellNumericValue("ArticulosCM",i,12);
```


Anexo IV: Programación del código de generación de pedidos

El código utilizado para la generación de pedidos está escrito en lenguaje Java. El código es ejecutado en un instante dado, determinado por la tasa de generación por cada empresa. A continuación se muestra el código para la empresa *Cooper Mascotas, C.A.* Para las demás empresas el código es el mismo, solamente cambian las variables a las cuales el código hace referencia.

```
for( int i=0; i< clientesCM.size(); i++ ){ //iteración en la base de datos de clientes.
    if( randomTrue( clientesCM.get(i).fi ) )
        Pedido pedidoCM = new Pedido();
        pedidoCM.clienteOrdenante = clientesCM.get(i); //selección del cliente ordenante con la función
randomTrue().
        do {
            for (int n=0; n< articulosCM.size();n++){ // iteración en la base de datos de artículos
                if (randomTrue(articulosCM.get(n).fi)){
                    Artículo a = articulosCM.get(n); //selección de un artículo ordenado con la función
randomTrue()
                    do {
                        a.cantidadOrdenada = (int) normal(a.desvOrden, a.mediaOrden); // determinación de la
cantidad ordenada del artículo seleccionado.
                    } while (a.cantidadOrdenada <=0);
                    pedidoCM.articulosEnLaOrden.add(a);
                    pedidoCM.valorOrden = pedidoCM.valorOrden + (a.Precio)*(a.cantidadOrdenada);
                    pedidoCM.pesoOrden = pedidoCM.pesoOrden + (a.Peso)*(a.cantidadOrdenada);
                    pedidoCM.cbmOrden = pedidoCM.cbmOrden + (a.CBM)*(a.cantidadOrdenada); // actualización de los
parámetros del pedido.
                }
            }
        } while (pedidoCM.articulosEnLaOrden.size() <= articulosPorFacturaCM()); // repetición del ciclo hasta
alcanzar el valor aleatorio del número de artículos a incluir en el pedido.
        println("pedido CM"); //checkpoint
        println(pedidoCM.clienteOrdenante);
        println(pedidoCM.articulosEnLaOrden);
    }
```

```

        tracenln(pedidoCM.valorOrden);
        tracenln(pedidoCM.pesoOrden);
        tracenln(pedidoCM.cbmOrden); // fin checkpoint
        CDI cdi = pedidoCM.clienteOrdenante.centroDist; // selección del centro distribución del cliente
ordenante.
        pedidoCM.markParametersAreSet();
        pedidoCM.clienteOrdenante.valorOrden = pedidoCM.valorOrden;
            send (pedidoCM, cdi);
            send ("Nuevo pedido", pedidoCM.clienteOrdenante);
            cdi.procesarPedidoCM.take(pedidoCM); // envío del pedido al centro de distribución correspondiente.

        break;
    }
    if( i == clientesCM.size()-1 ){ // Código ejecutable cuando la iteración alcanza el último cliente de la base
de datos de clientes.
        Pedido pedidoCM = new Pedido();
        pedidoCM.clienteOrdenante = clientesCM.get(uniform_discr(0, i));
        do {
            for (int n=0; n< articulosCM.size(); n++){
                if (randomTrue(articulosCM.get(n).fi)){
                    Artículo a = articulosCM.get(n);
                    do {
                        a.cantidadOrdenada =(int)normal(a.desvOrden, a.mediaOrden);
                    } while (a.cantidadOrdenada <=0);
                    pedidoCM.articulosEnLaOrden.add(a);
                    pedidoCM.valorOrden += (a.Precio)*(a.cantidadOrdenada);
                    pedidoCM.pesoOrden += (a.Peso)*(a.cantidadOrdenada);
                    pedidoCM.cbmOrden += (a.CBM)*(a.cantidadOrdenada);
                }
            }
        } while (pedidoCM.articulosEnLaOrden.size() <= articulosPorFacturaCM());
        tracenln("pedido CM"); //checkpoint
        tracenln (pedidoCM.clienteOrdenante);
        tracenln(pedidoCM.articulosEnLaOrden);
        tracenln(pedidoCM.valorOrden);
        tracenln(pedidoCM.pesoOrden);

```

```
traceln(pedidoCM.cbmOrden); // fin checkpoint
CDI cdi = pedidoCM.clienteOrdenante.centroDist;
pedidoCM.markParametersAreSet();
pedidoCM.clienteOrdenante.valorOrden = pedidoCM.valorOrden;
    send (pedidoCM,cdi);
    send ("Nuevo pedido",pedidoCM.clienteOrdenante);
    cdi.procesarPedidoCM.take(pedidoCM);

    break;
}
}
```

Anexo V: Programación de la función de separación de pedidos por zona de despacho.

La función de separación tiene como argumento el pedido que atraviesa el nodo de selección y al cual se hace referencia en el código como “agent”.

```
agent = Pedido;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 1)
    return zona1;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 2)
    return zona2;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 3)
    return zona3;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 4)
    return zona4;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 5)
    return zona5;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 6)
    return zona6;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho
== 7)
    return zona7;
if (agent.clienteOrdenante.zonaDespacho
== 8)
    return zona8;
if
(agent.clienteOrdenante.zonaDespacho == 9)
    return zona9;
else return zona2;
```

Anexo VI: Programación de la función de selección de vehículos.

La función de selección de vehículo para el despacho tiene como argumento el lote de despacho que será asignado a una unidad de vehículo determinada.

```
int i = count (vehiculosDisp, v -> v.ID == 1 ); // número de unidades
disponibles por modelo de vehículo
int j = count (vehiculosDisp,v -> v.ID == 2 );
int k = count (vehiculosDisp,v -> v.ID == 3 );
int l = count (vehiculosDisp,v -> v.ID == 4 );
int m = count (vehiculosDisp,v -> v.ID == 5);

for (int n=0; n < vehiculosDisp.size();n++){ // iteración en la población de
vehículos en el centro de distribución.
    Vehiculo vehiculo = vehiculosDisp.get(n);
    if ((vehiculo.ID == 1) && (loteDespacho.cbmDespacho <=
vehiculo.capCBM) && (loteDespacho.pesoDespacho <= vehiculo.capPeso)){
//evaluación de las condiciones de capacidad de carga del modelo de vehículo
        int x = uniform_discr(n,n+i-1);
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculosDisp.get(x);//
selección del vehículo
        break;
    }
    if ((vehiculo.ID == 2) && (loteDespacho.cbmDespacho <=
vehiculo.capCBM) && (loteDespacho.pesoDespacho <= vehiculo.capPeso)){
        int x = uniform_discr(n,n+j-1);
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculosDisp.get(x);
        break;
    }
    if ((vehiculo.ID == 3) && (loteDespacho.cbmDespacho <=
vehiculo.capCBM) && (loteDespacho.pesoDespacho <= vehiculo.capPeso)){
        int x = uniform_discr(n,n+k-1);
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculosDisp.get(x);
        break;
    }
    if ((vehiculo.ID == 4) && (loteDespacho.cbmDespacho <=
vehiculo.capCBM) && (loteDespacho.pesoDespacho <= vehiculo.capPeso)){
        int x = uniform_discr(n,n+l-1);
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculosDisp.get(x);
        break;
    }
    if ((vehiculo.ID == 5)){
        int x = uniform_discr(n,n+m-1);
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculosDisp.get(x);
        break;
    }
    if (n == vehiculosDisp.size()-1) {
        loteDespacho.vehiculoDespacho = vehiculo;
        break;
    }
}
```

Anexo VII: Otras consideraciones del modelo.

Existen algunos aspectos de la realidad del sistema de distribución del grupo de empresas que no son contemplados por el modelo construido y que gozan de relevancia en términos de la operatividad anual del *grupo Cooper*.

1. Inflación.

Actualmente en Venezuela las empresas operan bajo un ambiente económico de alta inflación. Nada más en el año 2016, la inflación anual acumulada fue de aproximadamente un 550%³⁶. Esto resulta en que las empresas incluyendo el *grupo Cooper* actualicen sus precios de venta con bastante periodicidad. El aumento en los precios influye en los montos facturados y por ende en el costo incurrido por retrasos en las entregas.

Nuestro modelo no contempla la existencia de un factor inflacionario que influya en los precios de los artículos existentes en el modelo de simulación. Por lo tanto, al realizar una corrida de simulación de un año de duración, sin aumento en los precios, genera un desfase con la realidad de las proyecciones del monto total facturado y el costo total incurrido por retrasos del modelo.

A pesar de esto, el objetivo del modelo es realizar evaluaciones comparativas entre diferentes escenarios propuestos y no debe ser utilizado para generar proyecciones monetarias confiables sobre los costos incurridos por retrasos y las proyecciones de facturación del grupo de empresas.

2. Estacionalidad y tendencias en la demanda.

Si bien fue realizado un análisis histórico de las ventas del grupo de empresas para el año 2016 para poder definir las variables del modelo, este análisis no incluyó una evaluación de la existencia de algún componente de tendencia y/o estacionalidad en la demanda.

³⁶ Fuente: Índice Nacional de Precios al Consumidor de la Asamblea Nacional de Venezuela (INPCAN). <http://www.asambleanacional.gob.ve/>

Es probable que exista un patrón de estacionalidad en la facturación de la compañía o alguna tendencia de crecimiento o disminución en la demanda. En cualquier caso, ambas consideraciones no fueron tomadas en cuenta en la construcción del modelo y sus parámetros de simulación para una corrida de un año de duración.

Por la misma razón de que el objetivo perseguido es realizar evaluaciones comparativas entre diferentes escenarios experimentales de variaciones respecto a la configuración actual del sistema de distribución, el modelo no debe ser utilizado para elaborar proyecciones del número total generado de facturas en años venideros. El único caso sería aplicable sería utilizar el factor de frecuencia de pedidos como un equivalente de la tendencia de incremento/disminución de la demanda, sin embargo, esta consideración no forma parte del objetivo de la presente investigación.

Anexo VIII: Lista de suposiciones del modelo

A continuación, se presenta un resumen de las suposiciones del modelo, mencionadas en la sección central del trabajo.

1. Del total de clientes de la empresa, solo el 90% están representados en el modelo en función de su relevancia para el valor, volumen y cantidad de facturas que generan (análisis AB).
2. Del total de artículos de la empresa, solo el 90% están representados en el modelo en función de su relevancia para el valor, volumen y cantidad de facturas que generan (análisis AB).
3. El modelo no contempla la distribución hacia el estado Nueva Esparta.
4. Se asume que la frecuencia relativa del número de pedidos generados por un cliente en el año 2016, es equivalente a su probabilidad de generar un pedido en el modelo.
5. Se asume que la frecuencia relativa del número de facturas en las que fue ordenado un artículo en el año 2016, es equivalente a la probabilidad de que un artículo sea seleccionado para el pedido generado en el modelo.
6. La cantidad de unidades ordenados una vez que un artículo es incluido en un pedido, sigue una distribución normal con media y desviación estándar equivalentes al promedio y desviación muestral del histórico de ventas por artículos.
7. El modelo asume una disponibilidad ilimitada del inventario de productos. En otras palabras, no existen eventos de *stock-out* en el modelo.
8. Todos los vehículos, independiente del modelo se desplazan a una misma velocidad.
9. Los lotes de despacho que superen la capacidad de carga del modelo de vehículo más grande de la flota, serán asignados forzadamente a dicha unidad de vehículo.

10. Los tiempos de carga y descarga en los vehículos siguen una distribución triangular de parámetros: mínimo 30 minutos, moda 45 minutos y máximo 90 minutos.

Anexo IX: Validación del modelo de simulación

La validación de nuestro modelo de simulación se efectuó en dos etapas. La primera consistió en evaluar el correcto funcionamiento de la generación de pedidos, la formación de lotes de despacho y la selección del vehículo más apropiado para su despacho; y el redireccionamiento correcto de la atención a un cliente por parte de los nuevos centros de distribución agregados. La segunda etapa consistió en verificar los valores de cantidad de facturas emitidas por empresa, el valor monetario total generado y las penalizaciones generadas por el modelo; al compararlos con los resultados históricos registrados en la empresa para el año 2016. La configuración de variables del modelo y el uso de la función *traceln()* permitieron validar la consistencia del modelo generado contra la situación actual de las empresas del grupo

i. Validación de la generación de pedidos³⁷

Durante la corrida del modelo se utilizó la función *traceln()* para observar las propiedades de un pedido, en el instante en que este es generado. A continuación, se presenta una muestra de la observación de un pedido generado durante una corrida del modelo.

```
pedido CWE // empresa que genera el pedido
root.clientesCWE[296] //cliente ordenante
zona despacho: 9
[root.articulosCWE[2], root.articulosCWE[13], root.articulosCWE[0],
root.articulosCWE[10]] // artículos en la orden
[5, 76, 60, 49] //cantidad ordenada por artículo
2238520.0 // valor monetario del pedido
819.09 // peso del pedido en kg.
0.8137000000000001 //volumen del pedido en metros cúbicos.
```

³⁷ En la sección II.4.4 se describió la lógica utilizada por el *software* para la generación de pedidos y sus atributos. En el anexo IV se señaló el código programado para esta función.

El pedido de muestra pertenece a la empresa *Cooper Welding Electric*, lo primero que observamos es que el cliente ordenante es el cliente con ID 296, y pertenece correctamente a la empresa que genera el pedido.

Los artículos ordenados pertenecen todos a la población de artículos de *Cooper Welding Electric* (no hay mezcla de clientes y artículos entre las empresas) y las cantidades ordenadas son todos valores enteros mayores a cero.

Al revisar en la base de datos de clientes encontramos la siguiente información para el cliente ordenante:

Empresa	ID	codigo	Nombre	Ubicación	Zona de despacho
CWE	297	525	HIERROS RICUPERO, C. A.	Ciudad Bolívar	9

Tabla 25. Ejemplo de generación de un pedido. Identificación del cliente ordenante.

Con esta información podemos validar que la zona de despacho del modelo, indicada por el modelo coincide con la información real del cliente. Los artículos ordenados fueron el artículo de ID: 3, 14, 1 y 10³⁸.

Empresa	Identificador	CBM	Peso(kg)	Precio de venta unitario	Cantidad promedio ordenada	Desviación Estándar (S)
CWE	1	0.0040	5.00	28000	58.00	30.00
CWE	3	0.0054	0.98	1990	59.00	28.00
CWE	11	0.0003	0.35	2750	40.00	25.00
CWE	14	0.0070	6.54	5445	50.00	32.00

Tabla 26. Ejemplo de generación de un pedido. Validación de los artículos en la orden.

Observando la cantidad promedio y desviación de los artículos y comparando con los valores del pedido generado por el modelo, estos se mantienen dentro del rango de 3 veces la desviación estándar; lo cual sugiere valores válidos para la cantidad ordenada en el modelo.

³⁸ Correspondiente al valor arrojado por la función *traceln()* más una unidad, por comenzar la población de artículos en "0" en vez de "1".

Al multiplicar la cantidad ordenada de cada artículo por su precio, peso y volumen respectivamente; la suma debiera coincidir con los valores totales del pedido indicados por la función *traceln()* en el modelo.

Empresa	Identificador	CBM	Peso(kg)	Precio de venta unitario	Cantidad ordenada en el modelo	Valor monetario real (Bs.)	Peso real(kg)	volumen real(m3)
CWE	1	0.0040	5.00	28000	60.00	1680000.00	300.00	0.24
CWE	3	0.0054	0.98	1990	5.00	9950.00	4.90	0.03
CWE	11	0.0003	0.35	2750	49.00	134750.00	17.15	0.01
CWE	14	0.0070	6.54	5445	76.00	413820.00	497.04	0.53
						2238520.00	819.09	0.8137

Tabla 27. Ejemplo de generación de un pedido. Validación de los valores totales del pedido.

Los totales observados en la tabla 19 al realizar el cálculo de forma manual corresponden con exactitud a los arrojados por el modelo.

Este proceso de verificación fue evaluado en al menos 30 pedidos generados por el modelo. La evaluación no reveló inconsistencia alguna.

ii. *Validación de la formación de lotes de despacho y la selección del vehículo más apropiado para su entrega*³⁹.

Por medio de la utilización de la función *traceln()* se verificó que la formación de despachos cumpliera con los siguientes aspectos:

- Que agruparan pedidos de clientes de diferentes empresas para asegurar cargas y despachos consolidados.
- Que el volumen y peso total de la carga fuera equivalente a la suma de los volúmenes y pesos individuales de los pedidos en el lote.
- Que no exista formación de lotes vacíos

³⁹ En la sección II.4.4 se describió la lógica utilizada por el *software* para la generación de pedidos y sus atributos. En el anexo VI se señaló el código programado para esta función.

- Que la capacidad del vehículo seleccionado sea la inmediata superior al peso y volumen de carga del lote de despacho.

A continuación, se presenta una observación de un lote de despacho formado durante una corrida del modelo.

```
Nuevo lote de Despacho zona 7 // zona de despacho del lote
[root.clientesCM[118], root.clientesCWE[251], root.clientesCM[3],
root.clientesCM[2]] // clientes con pedidos en el lote de despacho
6.608 // volumen total del lote de despacho en CBM
190.187 // peso total del lote de despacho en kg
vehículo tomado zona 7
root.vehiculos[3]( capCBM = 15.8, capPeso = 2850.0, ID = 2.0 ) //vehículo
seleccionado para el despacho
```

Se puede observar que el lote agrupa pedidos de una misma zona de despacho (zona 7), y contiene pedidos de múltiples empresas (*Cooper Mascotas* y *Cooper Welding Electric*), asegurando un despacho consolidado.

El lote despacho tiene un volumen de 6.608 metros cúbicos y un peso de 190.87 kg. La capacidad de carga del vehículo seleccionado (15.8 m³ y 2850 kg) es superior al del lote de despacho. Además, el programa no escogió el vehículo más pequeño, de capacidades 5.7 m³ y 1000 kg, lo cual indica que el programa hizo la evaluación correctamente y descartó la utilización de este vehículo por insuficiencia en su capacidad de carga. El vehículo seleccionado fue aquel con capacidad inmediata superior que cumplió con tener una capacidad superior al volumen y peso del lote de despacho.

Este análisis de validación se realizó para al menos 30 lotes de despacho formados. La evaluación no arrojó inconsistencia alguna.

iii. *Evaluación del redireccionamiento de envío de pedidos al agregar nuevos centros de distribución*

La inclusión de nuevos centros de distribución obliga a los clientes de las zonas de despacho de las zonas 7,8 (Occidente del país) y 9 (Oriente del país) a enviar sus órdenes de pedido a los nuevos CD de Barcelona y Cabudare según corresponde. Esta validación consistió en observar que el flujo de pedidos en los nuevos CD solo corresponda a las zonas de despacho que éste debe atender. Al mismo tiempo en el CD de Charallave no debe observarse flujo alguno de pedidos para las zonas 7,8 y 9.

Al correr el modelo con los nuevos CD incluidos, no se observó flujo de pedidos en el CD de Charallave para las zonas 7,8 y 9. Además los CD agregados solo sirvieron estas zonas. Validando el correcto redireccionamiento de los pedidos a los CD agregados.



Ilustración 28. Regiones de Oriente y Occidente siendo atendidas desde los nuevos CD incluidos.

iv. *Verificación del número de facturas generadas, cantidad de dinero generado y las penalizaciones por retrasos generados.*

La validación más importante de consiste en la verificar la aproximación del modelo a los valores registrados de la empresa para el año 2016, en cuanto al número de facturas generadas, ingresos por ventas generados y las penalizaciones por retrasos.

La tabla 28 muestra los resultados históricos de la empresa para el año 2016⁴⁰, y la tabla 29 muestra los mismos indicadores arrojados por el modelo al simular la situación actual.

Empresa	Número de facturas	Total Facturado (Bs.)	número de facturas con retraso	Penalizaciones por retrasos (Bs.)
Cooper Welding Electric, C.A	2529	Bs.711,057,604.26	110	Bs.44,687,251.46
Cooper Mascotas, C.A	1463	Bs.312,409,424.94	67	Bs.12,654,212.12
Cooper Diseños y Revestimientos, C.A	252	Bs.248,740,423.48	22	Bs.8,746,987.54
Totales	4244	Bs.1,272,207,452.68	199	Bs.66,088,451.12

Tabla 28. Resultados del grupo de empresa para en el año 2016.

Empresa	Número de facturas	Total Facturado (Bs.)	número de facturas con retraso	Penalizaciones por retrasos (Bs.)
Cooper Welding Electric, C.A	2065	Bs.4,455,147,016.00	122	Bs.60,857,253.21
Cooper Mascotas, C.A	1198	Bs.363,729,843.46	90	Bs.15,879,465.15
Cooper Diseños y Revestimientos, C.A	201	Bs.493,120,434.40	18	Bs.18,749,823.40
Totales	3464	Bs.5,311,997,293.86	230	Bs.95,486,541.78

Tabla 29. Resultados obtenidos de la simulación de la situación actual.

El número de facturas generado por el modelo difiere del valor real en un 18.37%. La proporción de facturas por empresa mantiene aproximadamente la misma proporción con un error promedio del 18%. El error en la cantidad de

⁴⁰ Informe de resultados 2016. *Grupo de empresas Cooper*, enero 2017.

facturas con retrasos es de 15,57%. La cantidad de retrasos por empresa tiene un error promedio del 17.33%

El total facturado en unidades monetarias y las penalizaciones por retraso difieren considerablemente, con errores de 317 y 44% respectivamente. Debemos recordar que el modelo no contempla un ajuste de los precios por inflación, utiliza únicamente el precio de venta de los artículos al mes de marzo del 2017. En cambio, los resultados reales de la compañía contienen una variación de precios con alta periodicidad desde enero hasta diciembre de 2016. Por esta razón resulta lógico que el total facturado real sea menor que el arrojado por el modelo.

Sin embargo, a efectos de poder verificar estos valores se decidió utilizar las bases de datos reales de venta por artículo de cada empresa y se multiplicaron las cantidades facturadas por artículo a lo largo del año por el último precio y se procedió a comparar con los resultados de la simulación de nuestro modelo.

Valores históricos - ajustados a los precios de marzo 2017

Empresa	Número de facturas	Total Facturado (Bs.)	número de facturas con retraso	Penalizaciones por retrasos (Bs.)
Cooper Welding Electric, C.A	2529	Bs.4,272,427,063.00	110	Bs.65,787,248.51
Cooper Mascotas, C.A	1463	Bs.501,756,275.44	67	Bs.22,114,375.69
Cooper Diseños y Revestimientos, C.A	252	Bs.242,922,376.29	22	Bs.13,287,965.21
Totales	4244	Bs.5,017,105,714.73	199	Bs.101,189,589.41

Tabla 30. Resultados de la empresa ajustados a los precios de marzo 2017.

Al realizar este ajuste, se puede observar a simple vista que ahora el total facturado y las penalizaciones por retraso se aproximan considerablemente. Los errores se reducen ahora a 5.8 y 5.63% respectivamente.

Anexo X. Tablas de resultados de los escenarios experimentales de la investigación

Escenario 0: Situación actual, CD en Charallave. 7 vehículos.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	37,50%	1	0,00%	0	% Retrasos (retrasos/facturas)	6,60%
	5012	2	63,50%	2	3,91%	9	Tiempo entrega (días) (media)	6,12
	6012	1	26,80%	3	4,78%	11	Tiempo entrega (días) (desv.)	4,38
	170E22	1	33,50%	4	3,04%	7	Tiempo entrega (días) (CV)	0,72
	260E25	1	58,90%	5	0,87%	2	Penalización por retrasos (Bs.)	95 MM
				6	14,78%	34	Comentarios	
				7	18,70%	43	- Los vehículos 5012 y 260E25 presentan el mayor porcentaje de utilización. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
				8	18,70%	43		
				9	35,22%	81		
			Total	100%	230			

Tabla 31. Tabla de resultados del escenario 0.

Escenario 1: CD en Charallave. Se agrega vehículo del tipo 5012.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	32,50%	1	0,00%	0	% Retrasos (retrasos/facturas)	7,00%
	5012	3	40,50%	2	8,91%	22	Tiempo entrega (días) (media)	5,72
	6012	1	34,60%	3	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (desv.)	4,38
	170E22	1	31,40%	4	0,81%	2	Tiempo entrega (días) (CV)	0,77
	260E25	1	67,50%	5	0,00%	0	Penalización por retrasos (Bs.)	138 MM
				6	10,12%	25	Comentarios	
				7	20,24%	50	- Se aumenta en una unidad el vehículo 5012. - El vehículo 260E25 presenta el mayor porcentaje de utilización. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
				8	13,77%	34		
				9	46,15%	114		
							Total	100%

Tabla 32. Tabla de resultados del escenario 1.

Escenario 2: CD en Charallave. Se agrega vehículo del tipo 260E25.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	37,40%	1	1,92%	2	% Retrasos (retrasos/facturas)	3,00%
	5012	2	59,90%	2	3,85%	4	Tiempo entrega (días) (media)	5,54
	6012	1	34,80%	3	4,81%	5	Tiempo entrega (días) (desv.)	3,58
	170E22	1	24,50%	4	12,50%	13	Tiempo entrega (días) (CV)	0,65
	260E25	2	30,40%	5	1,92%	2	Penalización por retrasos (Bs.)	34 MM
				6	25,96%	27	Comentarios	
				7	25,00%	26	- Se aumenta en una unidad el vehículo 260E25. - El vehículo 5012 presenta el mayor porcentaje de utilización. - La zona 6 (Aragua y Carabobo) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
				8	17,31%	18		
				9	6,73%	7		
				Total	100%	104		

Tabla 33. Tabla de resultados del escenario 2.

Escenario 3: CD en Charallave. Se agregan vehículos del tipo 5012 y 260E25.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	36,60%	1	0,97%	1	% Retrasos (retrasos/facturas)	3,00%
	5012	3	38,70%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	5,31
	6012	1	40,80%	3	8,74%	9	Tiempo entrega (días) (desv.)	3,64
	170E22	1	34,30%	4	2,91%	3	Tiempo entrega (días) (CV)	0,68
	260E25	2	26,60%	5	1,94%	2	Penalización por retrasos (Bs.)	41 MM
				6	8,74%	9	Comentarios	
				7	36,89%	38	- Se aumentan en una unidad los vehículos 5012 y 260E25. - El vehículo 6012 presenta el mayor porcentaje de utilización. - Zona 7 (Lara y Zulia) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
				8	27,18%	28		
				9	12,62%	13		
				Total	100%	103		

Tabla 34. Tabla de resultados del escenario 3.

Escenario 4: Se agrega CD adicional en Barcelona. Se transfiere un vehículo del tipo 5012 al nuevo CD.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	37,10%	1	0,72%	10	% Retrasos (retrasos/facturas)	40,80%
	5012	1	98,00%	2	26,12%	362	Tiempo entrega (días) (media)	18,90
	6012	1	21,00%	3	2,31%	32	Tiempo entrega (días) (desv.)	22,36
	170E22	1	3,50%	4	1,80%	25	Tiempo entrega (días) (CV)	1,18
	260E25	1	14,60%	5	0,51%	7	Penalización por retrasos (Bs.)	731 MM
Barcelona	L300	-	-	6	24,46%	339	Comentarios	
	5012	1	99,10%	7	6,28%	87	- Se transfiere a Barcelona un vehículo 5012. - El vehículo 5012 presenta el mayor porcentaje de utilización para los 2 CD. - La zona 2 (Caracas) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
	6012	-	-	8	11,54%	160		
	170E22	-	-	9	26,26%	364		
	260E25	-	-	Total	100%	1386		

Tabla 35. Tabla de resultados del escenario 4.

Escenario 5: CD Charallave y CD Barcelona. Se agrega un vehículo del tipo 5012 al nuevo CD.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	39,00%	1	0,46%	2	% Retrasos (retrasos/facturas)	12,60%
	5012	2	53,60%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	3,94
	6012	1	22,30%	3	1,86%	8	Tiempo entrega (días) (desv.)	2,78
	170E22	1	10,20%	4	0,46%	2	Tiempo entrega (días) (CV)	0,70
	260E25	1	17,40%	5	0,23%	1	Penalización por retrasos (Bs.)	255 MM
Barcelona	L300	-	-	6	2,78%	12	Comentarios	
	5012	1	96,60%	7	3,02%	13	- Se compra un vehículo 5012 para Barcelona. - El vehículo 5012 presenta el mayor porcentaje de utilización para los 2 CD. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
	6012	-	-	8	0,46%	2		
	170E22	-	-	9	90,72%	391		
	260E25	-	-	Total	100%	431		

Tabla 36. Tabla de resultados del escenario 5.

Escenario 6: CD Charallave y CD Barcelona. Se agregan 2 vehículos para CD Barcelona del tipo L300 y 5012 cada uno.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	38,80%	1	6,06%	2	% Retrasos (retrasos/facturas)	1,10%
	5012	2	56,50%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	3,78
	6012	1	20,70%	3	12,12%	4	Tiempo entrega (días) (desv.)	2,67
	170E22	1	11,90%	4	21,21%	7	Tiempo entrega (días) (CV)	0,71
	260E25	1	14,60%	5	0,00%	0	Penalización por retrasos (Bs.)	14 MM
Barcelona	L300	1	33,00%	6	12,12%	4	Comentarios	
	5012	1	72,70%	7	48,48%	16	<ul style="list-style-type: none"> - Se compra un vehículo L300 y 5012 para Barcelona. - El vehículo 5012 presenta el mayor porcentaje de utilización para los 2 CD. - La zona 7 (Lara y Zulia) presenta el mayor porcentaje de retrasos. 	
	6012	-	-	8	0,00%	0		
	170E22	-	-	9	0,00%	0		
	260E25	-	-	Total	100%	33		

Tabla 37. Tabla de resultados del escenario 6.

Escenario 7: CD Charallave y CD Cabudare. Se agrega vehículo del tipo 5012 para CD Cabudare.

CD	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	26,50%	1	1,03%	1	% Retrasos (retrasos/facturas)	2,80%
	5012	2	31,00%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	4,75
	6012	1	34,10%	3	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (desv.)	3,42
	170E22	1	15,60%	4	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (CV)	0,72
	260E25	1	40,10%	5	1,03%	1	Penalización por retrasos (Bs.)	37 MM
Cabudare	L300	-	-	6	9,28%	9	Comentarios	
	5012	1	98,70%	7	39,18 %	38	<ul style="list-style-type: none"> - Se compra un vehículo 5012 para Barcelona. - Los vehículos 260E25 y 5012 presentan el mayor % de utilización para Charallave y Cabudare respectivamente. - La zona 2 (Barinas, Mérida y Táchira) presenta el mayor % de retrasos. 	
	6012	-	-	8	47,42%	46		
	170E22	-	-	9	2,06%	2		
	260E25	-	-	Total	100%	97		

Tabla 38. Tabla de resultados del escenario 7.

Escenario 8: CD Charallave y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos para CD Cabudare del tipo L300 y 5012 cada uno.

CDI	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	27,60%	1	0,00%	0	% Retrasos (retrasos/facturas)	0,50%
	5012	2	29,50%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	4,18
	6012	1	22,70%	3	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (desv.)	3,34
	170E22	1	20,10%	4	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (CV)	0,80
	260E25	1	49,00%	5	0,00%	0	Penalización por retrasos (Bs.)	9 MM
Cabudare	L300	1	66,90%	6	0,00%	0	Comentarios	
	5012	1	39,60%	7	0,00%	0	- Se compra un vehículo L300 y 5012 para Barcelona. - Los vehículos 260E25 y L300 presentan el mayor % de utilización para Charallave y Cabudare respectivamente. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
	6012	-	-	8	0,00%	0		
	170E22	-	-	9	100,00%	14		
	260E25	-	-	Total	100%	14		

Tabla 39. Tabla de resultados del escenario 8.

Escenario 9: CD Charallave, CD Barcelona y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos del tipo L300 y 5012 a cada CD.

CDI	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	25,10%	1	0,00%	0	% Retrasos (retrasos/facturas)	0,30%
	5012	2	29,30%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	2,79
	6012	1	7,20%	3	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (desv.)	1,92
	170E22	1	2,70%	4	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (CV)	0,69
	260E25	1	4,00%	5	0,00%	0	Penalización por retrasos (Bs.)	1,7 MM
Barcelona	L300	1	37,70%	6	33,33%	1	Comentarios	
	5012	1	69,00%	7	0,00%	0	- Se compran vehículos L300 y 5012 para Barcelona y Cabudare. - Los vehículos 260E25 y 5012 presentan el mayor % de utilización para Charallave y Cabudare respectivamente. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
	6012	-	-	8	0,00%	0		
	170E22	-	-	9	66,67%	2		
	260E25	-	-	Total	100%	3		
Cabudare	L300	1	55,90%					
	5012	1	46,00%					
	6012	-	-					
	170E22	-	-					
	260E25	-	-					

Tabla 40. Tabla de resultados del escenario 9.

Escenario 10: CD Charallave, CD Barcelona y CD Cabudare. Se agregan 2 vehículos del tipo L300 y 5012 a cada CD. Se eliminan los vehículos del tipo 170E22 y 260E25 del CD Charallave.

CDI	Vehículo	Cantidad	Utilización	Zona	Retrasos		Resultados globales	
Charallave	L300	2	27,50%	1	0,00%	0	% Retrasos (retrasos/facturas)	0,00%
	5012	2	26,50%	2	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (media)	2,72
	6012	1	13,80%	3	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (desv.)	1,75
	170E22	-	-	4	0,00%	0	Tiempo entrega (días) (CV)	0,64
	260E25	-	-	5	0,00%	0	Penalización por retrasos (Bs.)	0 MM
Barcelona	L300	1	37,50%	6	0,00%	0	Comentarios	
	5012	1	65,10%	7	0,00%	0	- Se compran vehículos L300 y 5012 para Barcelona y Cabudare. - Los vehículos 260E25 y 5012 presentan el mayor % de utilización para Charallave y Cabudare respectivamente. - La zona 9 (Oriente) presenta el mayor porcentaje de retrasos.	
	6012	-	-	8	0,00%	0		
	170E22	-	-	9	0,00%	0		
	260E25	-	-	Total	0%	0		
Cabudare	L300	1	64,20%					
	5012	1	41,80%					
	6012	-	-					
	170E22	-	-					
	260E25	-	-					

Tabla 41. Tabla de resultados del escenario 10.