

Simulación de red de distribución primaria de una empresa dedicada a la elaboración y distribución de bebidas

Menéndez Orellana, Edda María

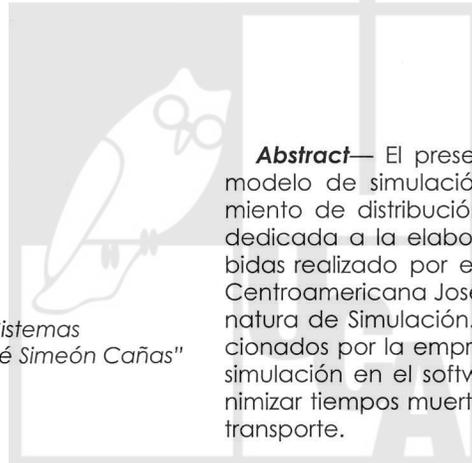
Orellana Herrera, Laura Beatriz

Orellana López, Alejandro Balmore

Ramírez Ferman, Jennifer María

Rosales Cruz, Andrea Beatriz

*Departamento de Operaciones y Sistemas
Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"
lorellana@uca.edu.sv*



Abstract— El presente documento expone un modelo de simulación del sistema de abastecimiento de distribución primaria de una empresa dedicada a la elaboración y distribución de bebidas realizado por estudiantes de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas para la asignatura de Simulación. Mediante los datos proporcionados por la empresa se realizó un modelo de simulación en el software SIMIO con el fin de minimizar tiempos muertos y cantidad de equipo de transporte.

Palabras clave – Modelo, simulación, validación, verificación, experimentación, entidades, recursos, metodología, modelo conceptual, parámetros, sistema, restricciones, transporte.

Introducción

En el estudio de los fenómenos económicos no siempre resulta posible tomar en consideración simultáneamente todos los elementos. Con fines de análisis, es necesario escoger y agrupar determinados elementos atendiendo a características determinadas. Por consiguiente, todos los procesos económicos que han de describirse en forma de estadísticas requieren una clasificación sistemática. La CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) tiene por finalidad establecer una clasificación uniforme de las actividades económicas productivas. Su propósito principal es ofrecer un conjunto de categorías de actividades que se pueda utilizar para la reunión y presentación de estadísticas de acuerdo con esas actividades. [1]

En El Salvador, se adoptó la cuarta versión de esta clasificación en el año 2007, cuando esta era todavía una versión preliminar; sin embargo, fue rápidamente oficializada con unas leves modificaciones a las versiones preliminares. Siendo este modelo el que se utiliza actualmente en el país como referente a la clasificación de los sectores económicos.

Para el presente estudio, se puede generalizar la clasificación de la empresa, la cual por cuestiones de confidencialidad se es imposible revelar su nombre comercial, ubicándola dentro de las siguientes categorías de la CIU:

Sección C: Industrias manufactureras

Tabla 1
Rubro CIU

División	Descripción
11	Elaboración de bebidas

Una estructura más detallada de la clasificación CLAEES 4.0 proporciona la siguiente información:

Tabla 2. Subdivisiones de la clasificación

División	Clase	Descripción
11	1101	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas
	1103	Elaboración de bebidas malteadas y de malta
	1104	Elaboración de bebidas no alcohólicas; producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas

Una vez se ha ubicado la empresa en estudio dentro de un marco general el cual facilite la clasificación de sus actividades, se procede a evaluar el impacto de la misma en la economía de El Salvador. Para ello se analiza primero el peso y eficiencia del sector bebidas y, segundo, el peso de la empresa en la economía y su contribución a la recaudación tributaria y al empleo, bajo su modelo de negocio basado en el desarrollo sostenible de El Salvador. [2]

A. Peso del Sector Bebidas en la economía

El peso del Sector Bebidas en la Industria Manufacturera y en el PIB en el período 2000-2010 se

muestra bastante estable, en especial en relación con el PIB. Esto evidencia que se trata de un sector que se mueve de acuerdo con los ciclos económicos, como lo muestra el Gráfico 1.

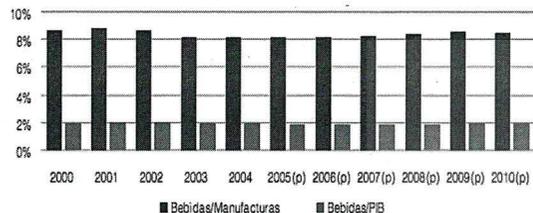


Fig. 1 El Salvador: Peso del Sector Bebidas respecto a la Industria Manufacturera y al PIB

Fuente: Información suministrada por la empresa en su página web.

B. Aporte de la empresa en estudio a la recaudación tributaria

La contribución de la empresa a la recaudación tributaria del Gobierno Central se obtiene sumando los pagos de la industria en concepto de IVA neto; Impuesto Sobre la Renta por las utilidades de la empresa y retención a los empleados; e impuestos selectivos al consumo. El pago y la recaudación según los diferentes tipos de impuestos se presentan en la Tabla III, que muestra que la principal contribución al Fisco de parte de la empresa ocurre por el pago de impuestos selectivos al consumo. En suma, los impuestos pagados por la empresa en cuestión representan el 2% de la recaudación tributaria de 2010. [3]

**Tabla 3
Pago de impuesto y recaudación tributaria (rt) a 2010
(datos en millones de dólares)**

Tipo de Impuesto	EMPRESA	RT TOTAL	%
Impuesto al Valor Agregado (IVA neto)	10	1566.6	0.6
Impuesto Sobre la Renta (ISR)	8	1050.0	0.8
Impuestos Selectivos	43.6	119.2	36.6
Total pago de Impuestos de la Empresa y recaudación Tributaria	61.6	3070.3	2.00

Fuente: Página de Transparencia Fiscal del Ministerio de Hacienda e información suministrada por la empresa en su página web.

C. Aporte de la empresa a la generación de empleo

En 2010, la empresa empleó directamente a 1,653 personas. Indirectamente, a través de sus diversas operaciones, la misma generó 61,253 empleos más, de los cuales 35,416 corresponden a propietarios de negocios. El dato es interesante porque las operaciones de la empresa en estudio sirven de apoyo a otras empresas, estimulando el desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa (MYPE), que a su vez también contratan más empleados.

En suma, la empresa empleó directa e indirectamente 62,906 personas, es decir, aproximadamente el 2.5% de la Población Económicamente Activa (PEA). Esta cifra demuestra que la compañía es un agente clave de empleo en El Salvador tanto por sus actividades propias como por los beneficios que produce su cadena de distribución y los efectos de sus operaciones sobre otras industrias. [4]

D. El modelo de distribución de la empresa

Aparte del aporte económico y social que brinda la empresa para el país, uno de los principales puntos a tratar en el artículo, es la manera en que esta, se encarga de distribuir sus productos a todo el país. Actualmente se maneja un sistema de distribución primaria, en el cual la empresa, por medio de cuatro proveedores de transporte, mueve sus cargas de productos desde las tres plantas de producción que tiene en el país, a sus centros de distribución y bodegas periféricas; esto le permite optimizar las operaciones. También por este medio, la empresa aprovecha las economías de escala, al despachar rastras con grandes cantidades de producto al centro de distribución, para que este los envíe de acuerdo a la demanda a cada ubicación del cliente o comprador.

Al diseñar de manera eficiente la red de distribución de toman en cuenta todos los factores geográficos, para poder realizar la programación de los viajes y rutas que cada transporte debe realizar a diario, para poder minimizar costos, vehículos y tiempos. Una redistribución de los viajes y rutas puede optimizar aún más los tres recursos antes mencionados.

Por eso, el presente trabajo se enfoca en resolver el problema de modelar la secuencia de abastecimiento del sistema de distribución primaria de la empresa dedicada a la elaboración y distribución de bebidas en una temporada de distribución normal, minimizando el tiempo muerto y la cantidad de equipo de transporte en cola. Para resolver este problema, el principal objetivo del proyecto fue: disminuir las líneas de espera y tiempos ociosos en

el sistema de distribución primaria de una empresa dedicada a la elaboración y distribución de bebidas, mediante la evaluación de distintos escenarios en un modelo de simulación por computadora utilizando software Simio®.

Para mostrar cómo se realizó, este artículo contiene la metodología del ciclo de vida de un proyecto de simulación, que se utilizó para poder obtener resultados y las mejoras deseadas al sistema de estudio. Se muestran también los resultados, conclusiones y referencias bibliográficas tomadas para el desarrollo del mismo.

Materiales y métodos

A partir de la decisión de la empresa de realizar una simulación para determinar cómo mejorar el sistema, se consideraron las etapas del ciclo de vida de un proyecto de simulación y su secuencia de aplicación.

A. Formulación del Problema

Se define el problema y se describe el sistema en estudio. Se deben tener claros los objetivos, los cuales deben indicar las cuestiones a las que se debe responder sobre el sistema, los alcances, limitaciones y medidas de efectividad a utilizar.

B. Desarrollo del Modelo Conceptual

En esta etapa se abstrae el sistema real a un modelo teniendo en cuenta los objetivos del estudio. Se definieron todos los elementos del modelo conceptual y se hizo un diagrama de colas para comprender con más facilidad el problema.

El sistema simulado es el área de abastecimiento que utiliza la empresa para la distribución de sus productos, en donde interesa conocer el tiempo en cola que se genera en los diferentes centros de distribución o bodegas.

El modelo, según la clasificación en el instante temporal, es dinámico ya que cambia con el tiempo. Según la aleatoriedad de las variables trabajadas se clasifica como un modelo determinista ya que no incluye variables aleatorias y según el modo en que evolucionan sus variables se clasifica como híbrido ya que se trabaja con variables discretas y continuas. También, la simulación es de tipo estable y abierta debido a que no existe un evento que determine su fin. El sistema seguirá funcionando indefinidamente creando nuevas entidades.

- Entidades: Cargas
- Recursos: Rastras de los proveedores
- Localización: Empresa de distribución de bebidas de El Salvador
- Parámetros: Horarios de atención de fábricas y centros de distribución Capacidad de las fábricas y CD Cargas en el día Rutas Distancia de viajes Velocidad de las rastras
- Reloj de simulación: 24 horas
- Restricciones:
 - Máximo de cola CD1 deben ser 8 rastras. Máxima cola en los demás servidores debe ser de 5.
 - Cada proveedor tiene un máximo de camiones a utilizar. Los proveedores tienen un origen definido. Las bodegas periféricas no despachan. Hay ventanas de atención específicas para Bodegas Periféricas. Las bodegas periféricas trabajan por cita.

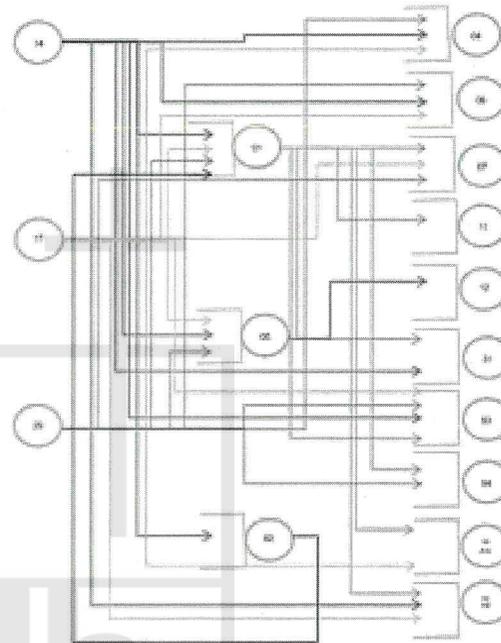


Fig. 2 Diagrama de redes de colas para el sistema.

C. Recogida de datos

En esta etapa se realiza la adquisición y análisis de los datos relacionados con el estudio. En este caso, la empresa proporcionó directamente todos los datos a utilizar en el estudio, con la limitante de que la información fue proporcionada fuera de contexto por aspectos de confidencialidad de la empresa. Se proporcionaron archivos de Excel con la siguiente información:

- Localidades de estudio (fábricas, bodegas y bodegas periféricas)
- Rutas, tiempos y distancias de viajes
- Horarios de ventana de atención por localidad
- Cantidad de viajes en Temporada Normal
- Cantidad de viajes en Temporada Pico
- Proveedores y su lista de viajes
- Capacidades de atención de la localidad por hora en Temporada Normal
- Capacidades de atención de la localidad por hora en Temporada Pico

D. Construcción del modelo

Una vez definido el modelo conceptual y a partir de la información obtenida se comenzó a construir el modelo, haciendo una equivalencia entre el sistema y modelo. Para la construcción del modelo y su simulación se utilizó el software Simio 8.

SIMIO® es un software informático de modelado y simulación que permite construir y simular sistemas de modelos dinámicos animados en tres dimensiones con un gran rango de variantes. Por ejemplo, pueden representarse sistemas de distribución y transporte, líneas de producción, el funcionamiento un Cross Dock, etc. Simio® usa un objeto de aproximación para modelar, con lo que los modelos son construidos combinando objetos que representan componentes físicos de los sistemas a representar. Dentro de Simio® cada objeto tiene su propio comportamiento definido mediante su modelo interno que responde a los eventos en el sistema. Retomando el caso del sistema de transporte primario de la empresa, el modelado de dicho sistema se realizó con ayuda de SIMIO® versión 8

(Licencia de Estudiante). Para ello, se procedió a diseñar la red de transporte con ayuda de elementos de la biblioteca de objetos estándar.

1. Sobre el modelado de las Fábricas:

La empresa cuenta con tres fábricas, las cuales por motivos de confidencialidad únicamente serán identificadas como 14, 17 y 29. La estructura básica dentro de Simio® de las fábricas es:

- Una fuente
- Un servidor

La fuente (denominada como FF#Delidentificación) le sirve a las fábricas para generar las cargas por hora según la información proporcionada en el archivo de "Capacidades de atención". A partir de dicho archivo se creó una Date Time Table, cuyo funcionamiento se explicará de manera posterior, la cual le determina a las fábricas el tipo de entidad que se va a crear y el orden de llegada de las mismas. La lógica del funcionamiento del servidor (nombrado F#Delidentificación) se encuentra dado por un calendario, el cual le indica los momentos del día que ésta se encuentra abierta y funcionando. Además, el tiempo de procesamiento viene dado por el cálculo de la cantidad de rastras por hora que atiende la misma, el cual se realizó a partir de los datos de las Capacidades de atención.

2. Sobre el modelado de los Centros de Distribución:

Los centros de distribución en estudio se han identificado como CD1, CD5 y CD92. La lógica del modelado de un centro de distribución comprende:

- Una fuente
- Un servidor
- Un sumidero

La configuración tanto de la fuente como del servidor es idéntica a la de las fábricas, por lo tanto no se detallará nuevamente. Sin embargo, cabe destacar que los horarios de atención y las capacidades de cada fábrica y de cada centro de distribución son diferentes entre sí por lo que existe una tabla separada para cada una de ellas (tanto calendario como para la asignación de creación y llegada de entidades) la cual ha sido identificada con el nombre de la instancia a la que se refiere. Sobre el sumidero de cada centro de distribución (nombrado Sink#DelIdentificación) se señala que su utilidad únicamente es destruir las entidades cuya ruta termine en dicho centro de distribución, ya que las secuencias (como se detallará de manera posterior) han sido configuradas con el método PEPS, por lo que no se despacha lo que acaba de entrar a la instancia sino que lo que se encontraba almacenado previamente (es por ello que se necesita una nueva fuente independiente a la de las fábricas que genere la carga a despachar por cada centro de distribución).

3. Sobre el modelado de las Bodegas:

Las bodegas incluidas dentro del modelo de simulación son 04, 06, 07, 93, 31, 94, 11 y 12. La estructura de una bodega dentro del modelo de simulación se encuentra definida por:

- Un servidor
- Un sumidero

La razón por la que no se incluye fuentes en cada una de las instancias denominadas bodegas, es porque las mismas sólo sirven para recibir y almacenar la carga sin despacharla a nuevos destinos. En cuanto al funcionamiento de los servidores, la lógica del procesamiento se obtuvo de igual manera que la de cualquier servidor, es decir a partir del archivo de "Capacidades de atención", se calculó la cantidad de rastras por hora que se atienden en cada instancia, con la excepción de la bodega 94 (denominada B94) a la cual se le incluyó el factor de aleatoriedad típico de cualquier modelo de simulación pero que por la naturaleza de la información proporcionada por Industrias "La Constancia" se ve restringido en el aspecto que la cantidad de viajes, de recursos y de capacidades se encuentran dados por valores constantes. Dicho factor de aleatoriedad se incluyó en la manera del tiempo de procesamiento de la bodega 94, el cual se definió de la siguiente manera: Processing Time: Random.Triangular(0.637,0.67,0.7035). Dicha aleatoriedad en el tiempo de procesamiento corresponde a $\pm 5\%$ del tiempo de procesamiento habitual de la bodega. El sumidero de las bodegas al igual que los sumideros de cualquier instancia únicamente cumple la función de destruir las entidades que llegan y han sido procesadas según la capacidad de cada servidor.

4. Sobre el modelado de las Bodegas Periféricas:

Las bodegas periféricas estudiadas son la 90AW y 90AB (Denominadas BP#Identificación). El modelado de cada una de ellas dentro de Simio® se encuentra definido por:

- Un servidor
- Un sumidero

La necesidad de un sumidero dentro de este tipo de recurso viene dada por la restricción impuesta por el personal de la empresa en la cual se estableció que una bodega periférica únicamente puede recibir cargamento pero nunca despacharlo. Además, la configuración de los servidores si bien se realizó mediante un calendario, los horarios de atención difieren de todos los demás servidores del modelo de simulación, ya que otra característica que se debió modelar es la atención por citas (se detallará más en el apartado de creación de calendarios).

5. Sobre las conexiones:

La unión entre servidores (un origen y un destino) se realizó con los elementos denominados "PATH", los cuales se elaboraron gracias a los datos de la información de red. Utilizando los datos de las longitudes (en kilómetros) de cada camino y calculando las velocidades (kilómetros/hora), según la misma información. Los path se encuentran conectados desde el OutputBuffer de un servidor hasta el InputBuffer de su correspondiente destino. Cabe destacar que dentro la configuración de cada path, se especificó la unidireccionalidad del camino, teniendo entonces la necesidad de crear una vía de regreso la cual era idéntica (o con pequeñas variaciones en los tiempos y velocidades de la original, según la información del archivo antes mencionado) pero en sentido contrario. Estas vías de retorno se encuentran conectadas del InputBuffer hacia el OutputBuffer de los servidores. Su principal uso será para los camiones los cuales tienen que regresar a la fábrica o centro de distribución donde se originaron.

6. Sobre las cargas:

Como se definió en el modelo conceptual, las entidades son las cargas de cada rastra. Sin embargo por particularidades de la lógica del modelo y para facilitar la simulación, se definió las entidades según las rutas que iban a seguir. La denominación de las mismas se hizo como se ejemplifica a continuación: RUTA_17_01 (Ruta que tiene como origen la Fábrica 17 y como destino el Centro de Distribución 1) Cada entidad corresponde ya sea a la ruta de una fábrica a un centro de distribución o bodega, o bien, a la ruta seguida desde un centro de distribución a cualquiera de sus destinos. En total se crearon 32 entidades. Después de concluir con el diseño del modelo en el software de simulación Simio® se procede a crear la lógica interna que regirá el comportamiento del mismo. Para ello se creó una serie de tablas y calendarios que definen las capacidades del sistema.

- a. *Tablas de secuencia:* La necesidad de las secuencias viene dada por la complejidad de las rutas del modelo. Con ellas se pretende establecer el camino a seguir por las entidades dentro de la simulación. Para ejemplificar lo anterior se toma de muestra la ruta que va del Centro de Distribución 1 a la bodega periférica 90 AW.
 - La secuencia se origina en el Output del centro de distribución (lugar donde esperan los transportes).
 - El siguiente punto de la secuencia es el Input del servidor de destino donde serán procesadas según su capacidad (BP90AW).
 - La secuencia finaliza en el Sink de la misma bodega destruyendo la entidad.

Dichas tablas de secuencia se elaboran para cada una de las entidades creadas. Es decir en la lógica del modelo hay 32 tablas de secuencia.

- b. *Date time table*: Para garantizar la creación de los viajes requeridos al día, se procede a crear una tabla la cual determine el momento exacto en que será creada cada entidad así como su secuencia a seguir. Para la creación de dichas tablas se hace uso de la propiedad standard "Date Time". Se determinó según el caso de cada fábrica o centro de distribución el intervalo de tiempo que debía transcurrir entre la creación de dos entidades consecutivas. La primera columna de la figura corresponde a la representación de dicha tabla para la fábrica 17. Luego, se utiliza una Object Reference para indicar la entidad a generar. Cabe destacar que la configuración de los viajes fue realizada con base en las restricciones impuestas por el personal de la empresa: despachar primero los viajes que iban a recorrer mayores distancias y garantizar el cumplimiento de las ventanas de atención. Finalmente se agrega otra propiedad standard: una tabla de secuencia la cual sirve para dirigir a la entidad creada en su ruta correspondiente.
- c. *Calendarios*: Para especificar la capacidad basada en un calendario de trabajo primero se crea el plan de trabajo seleccionando la pestaña de *Data/Schedules/Work Schedule*. El propósito de los planes de trabajo es regular el funcionamiento de los servidores. Dichos calendarios fueron creados con base en los horarios proporcionados en la tabla

de ventanas de atención. Así mismo en la pestaña *Day Pattern*, se modificó las capacidades (value) según los horarios para que se apegara a la información proporcionada por el personal de ILC.

- d. *Vehículos*: Un vehículo es utilizado para trasladar objetos entre localizaciones de nodos. El modelo de simulación cuenta con 10 vehículos, correspondientes a los 4 proveedores. Cabe destacar que para programar los recorridos se sacó la proporción de viajes realizados por cada proveedor en cada tramo de ruta con respecto al total de viajes realizados por el mismo. Con el propósito de clasificarlos se definió una lista por tramo la cual contiene el conjunto de vehículos disponibles a utilizar. Además, se restringió la velocidad de cada vehículo a 60 km/h respetando los límites de velocidad impuestos por la legislación salvadoreña. Para poder asignar las cargas al transporte, en el nodo de salida de cada servidor (a la derecha del mismo) se indicó que es verdadero (TRUE) que necesitan transporte, es decir que una entidad no puede ser transportada a través de los path a menos que exista un vehículo disponible que la desplace. Otro aspecto que se configuró de igual manera en los vehículos es el hecho que se encontraban estacionados en su nodo casa (Nodo de salida de los servidores ya sea de una fábrica o un CD, respetando las restricciones en cuanto a origen de los proveedores) así mismo se estableció que debían regresar al mismo al momento de desocuparse.

E. Verificación:

Con la verificación se comprueba la funcionalidad del modelo, es decir, que se encuentre libre de errores de programación y que la transferencia del modelo conceptual al modelo en el software fue correcta. Verificar un modelo de simulación implica comprobar que no se cometieron errores al trasladar el modelo conceptual al modelado en el lenguaje de programación, en este caso, el software Simio. La forma más sencilla de observar esto es si el programa muestra alguna advertencia de error. Cuando ocurre un error de programación, Simio muestra una ventana en la parte inferior señalando el error, el objeto en donde está el error, la propiedad señalada y el error en el texto de entrada. Si el error no se arregla, el programa no permite que se corra la simulación. Durante la construcción del modelo se hicieron algunas revisiones a medida se agregaban más objetos:

- Las conexiones estuvieran entre los nodos correspondientes.
- El movimiento de los vehículos con las entidades.
- La existencia de caminos según las tablas de secuencias.
- Todas las entidades deben llegar hasta un sumidero.

F. Validación

Validar consiste en comprobar que el modelo se comporta de forma equivalente con el sistema real, en función de los objetivos planteados en el estudio de simulación. Un modelo es válido si representa adecuadamente al sistema real y los datos

generados de la simulación reproducen de forma adecuada el comportamiento del sistema real.

En toda simulación los datos son necesarios para construir el modelo, validarlo y para el desarrollo de experimentos con el modelo validado. Los datos proporcionados por la empresa son reflejo de datos históricos de la misma empresa, por lo que se puede afirmar que hay garantía de que en efecto, son correctos, completos, y confiables para la realización del modelo.

G. Simulación y análisis de resultados

Con los datos generados en la ejecución de la simulación se procede a realizar un análisis y obtener conclusiones en línea con los objetivos trazados para el estudio.

H. Documentación

Se debe registrar las actividades del proyecto, la forma del uso del modelo, los resultados y las conclusiones del proyecto para su presentación a la empresa.

I. Implementación

Según los resultados obtenidos, la empresa decidirá si utilizar el modelo realizado para cumplir con sus intereses.

Resultados y discusión

El primer resultado que se debe obtener del modelo de simulación es una réplica de cómo se comporta actualmente el sistema primario de transporte de la empresa. Para obtener la validación de lo antes mencionado, se presentaron los datos obtenidos al Gerente de transporte primario

para que verificara que dichos datos concuerdan con la actividad actual de la empresa.

Tabla 4
Resultados de la situación normal de la empresa

Resultado	Explicación	Valor
Viajes Creados	Corresponde a la cantidad de viajes que se crean y se envían desde las plantas y los Centros de distribución que hacen Cross Dock	152 viajes
Viajes terminados	Viajes que llegaron a su destino a tiempo	106 viajes
Viajes en ruta	Viajes que llegarán fuera de las 24 horas que dura la simulación	14 viajes
Viajes en cola	Viajes que han llegado a tiempo a su destino, pero que no pueden ser atendidos en este debido a que hay cola porque se ha saturado el mismo	32 viajes

Como se observa en la tabla 4, el modelo crea 152 viajes, que son los viajes que la empresa realiza en un día de temporada normal, de los cuales 106 si se terminan durante la corrida de la simulación, algunos de los viajes no se completan porque quedan en cola, y otros porque se enviaron al final del día y serán completados al día siguiente. De forma general, también se ve que 32 viajes quedan en cola, lo que equivale a 32 equipos (rastras) en espera.

Con la corrida del escenario normal que maneja la empresa, se descubrió que el mayor problema de cola se generaba en el Centro de Distribución 1, ya que este es el más grande y recibe mayor cantidad de pedidos.

Tabla 5
Resultados de la situación normal del centro de distribución 1 (bodega 1)

Resultado	Valor
Viajes máximos en cola del Centro de Distribución 1	23 viajes
Viajes promedios en cola del Centro de Distribución 1	11 viajes
Tiempo máximo en cola del Centro de Distribución 1 (horas)	7.16 horas
Tiempo promedio en cola del Centro de Distribución 1 (horas)	2.45 horas

La propuesta presentada para la optimización de los recursos en el sistema de transporte se traduce en un aumento de las horas de atención de las principales bodegas y una reducción de la flota de vehículos que se utilizan.

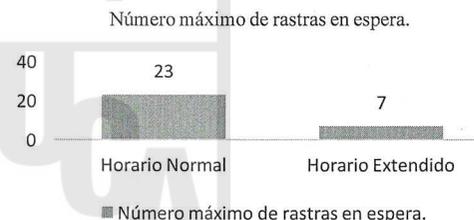


Fig. 3 Gráfico de comparación de número máximo de rastras en espera del escenario normal y extendido.

Actualmente el horario de atención es de 18 horas en la bodega 1 (centro de distribución 1), sin embargo se tiene la capacidad de que dicha bo-

dega funcione las 24 horas del día y esto beneficia reduciendo el máximo de rastras en cola de espera de 23 a 7.

Uno de los objetivos primordiales de la empresa era que el máximo de rastras en cola de espera fuera ocho, la simulación muestra que el objetivo es posible con el aumento de horario.

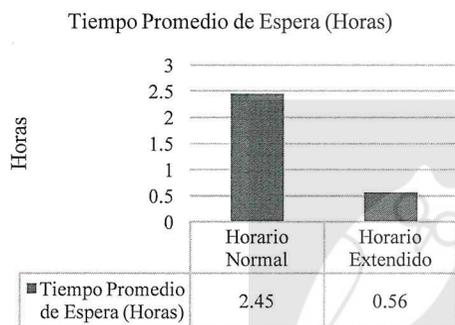


Fig. 4 Gráfico comparativo del tiempo promedio en espera del centro de distribución 1 en escenario normal y escenario extendido.

Debido a que la capacidad de atención en la bodega ha aumentado, el tiempo de espera promedio ha decaído de 2.45 horas a 0.56 horas.

Datos Relevantes: para la simulación de viajes, se creó un horario por cada planta, priorizando que los viajes más largos, fuesen los primeros en salir de la planta. Así mismo los viajes son realizados por rastras de proveedores que tienen asignados plantas específicas.

Sugerencias para el seguimiento del proyecto:

- Obtener información como sueldos y costos de operación, esto con el objetivo de contrastar escenarios como: hora extra, mayor personal, extender horarios, aumentar capacidad de montacargas, etc.
- La utilización de una matriz iterativa podría ser útil para una mejor creación de horarios, utilizando como pesos los tiempos de viaje y entre las restricciones 12 horas máximas por conductor, no realizar viajes de las plantas que no están asignadas, etc.

Conclusiones

Al aumentar el horario de atención del Centro de Distribución 1, se logró reducir el número máximo de rastras en espera, de 23 a 7, esto implicó una mejora al sistema de distribución primaria de la empresa, implicando reducción en las colas del 69.57%.

Al aumentar el horario de atención del Centro de Distribución 1, se logró reducir el tiempo promedio en espera, logrando reducir el tiempo de 2.45 horas, a 0.56 horas, esto implicó una reducción del 76.73% de tiempo muerto en el sistema.

El ampliar el horario de atención del Centro de Distribución 1, también se puede ampliar la cantidad de viajes terminados a nivel global, ya que parte de la cantidad de equipos que permanecía en cola, podrá terminar sus viajes al disminuir esta y el tiempo que se permanece en ella. Los viajes terminados con la mejora implementada ascienden

a 126, lo cual indica una oportunidad de mejora del 18.86%.

Referencias

- [1] Ministerio de Economía: Direcciónn general de Estadística y Censos, "Clasificación de Actividades Económicas de El Salvador (CLAEES) BASE CIU 4.0" [En línea] disponible: <http://aplicaciones.digestyc.gob.sv/Clasificadores/Sistema/Documentos/Documento-CLAEES.pdf>
- [2] ILC: Dinamizadora de la Economía Salvadoreña. Página 25
[En línea] disponible: www.laconstancia.com/admin/documents/23
- [3] ILC: Dinamizadora de la Economía Salvadoreña. Página 28

[En línea] disponible: www.laconstancia.com/admin/documents/23

- [4] ILC: Dinamizadora de la Economía Salvadoreña. Página 28

[En línea] disponible: www.laconstancia.com/admin/documents/23

Melara C., Orellana, L. (2014). *Manual de Prácticas de Simulación*. San Salvador: UCA editores

Orellana, L. (2014). *Simulación de eventos discretos*. San Salvador: UCA editores.

David Kelton, Simio and simulation : modeling, analysis, applications, Lexington, Kentucky: Simio, 2014