

Simulation of a Sugar Supply Chain

Simulación de una Cadena de Suministro de Azúcar

Jaime Alberto Giraldo, Ph. D, Omar Danilo Castrillón, Ph. D, and Jaime Antero Arango, Ph. D
Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Industrial,
Campus La Nubia Bloque Q piso 2, Manizales - Colombia. Jaiagiraldog@unal.edu.co, odcastrillong@unal.edu.co,
jaarangom@unal.edu.co

Abstract– *The objective of this paper is to show a simulation model of a 3-stage sugar supply chain (manufacturer, distributors and customers) that includes customers in Colombia, Ecuador and Peru, with 1 distributor in each country and the manufacturer in Colombia. Initially, the center of gravity algorithm is used to determine the best distributor locations, and then the simulation technique is used to model inventory control policies, transportation, and supply rules. Finally, it is indicated how the developed model supports the management of the supply chain in making decisions such as: location of distribution centers, selection of the transport network and definition of appropriate inventory policies to satisfy demand.*

Keywords-- *Simulation, Optimization, Supply Chain Management, Sugar, Location, Transportation, Inventory.*

Resumen– *El objetivo de esta ponencia es mostrar un modelo de simulación de una cadena de suministro de azúcar de 3 etapas (fabricante, distribuidores y clientes) que incluye clientes en Colombia, Ecuador y Perú, con 1 distribuidor en cada país y el fabricante en Colombia. Inicialmente se utiliza el algoritmo del centro de gravedad para determinar las mejores ubicaciones de los distribuidores y seguidamente se emplea la técnica de simulación a fin de modelar las políticas de control de inventario, transporte y reglas de abastecimiento. Finalmente, se indica como el modelo desarrollado apoya la gestión de la cadena de suministro en la toma de decisiones tales como: ubicación de los centros de distribución, selección de la red de transporte y definición de políticas de inventario apropiadas para satisfacer la demanda.*

Palabras claves-- *Simulación, Optimización, Gestión de Cadenas de suministro, Azúcar, Localización, Transporte, Inventario.*

I. INTRODUCCIÓN

Una cadena de suministro es una red de organizaciones y procesos donde las empresas (sean estos proveedores, fabricantes, distribuidores o minoristas) cooperan y coordinan a lo largo de la cadena de valor para adquirir materias primas, convertir estas materias primas en productos y entregar estos productos a los clientes [1].

La gestión de la cadena de suministro (SCM) es una integración y coordinación entre departamentos y empresas de materiales, información y flujos financieros para utilizar los recursos de la red de suministro de la manera más racional a lo largo de la cadena de valor, desde los proveedores de materias primas hasta los clientes [1,2].

La gestión de la cadena de suministro integra los procesos de producción y logística en varios niveles. Las cuestiones estratégicas incluyen decisiones como el tamaño y la ubicación de las plantas de fabricación y centros de distribución, la estructura de las redes de servicios y el diseño de la cadena de suministro. Los problemas tácticos incluyen la planificación de la producción, el transporte y el inventario. Finalmente, los aspectos operativos abordan la programación y el control de la producción, el control de inventario y el enrutamiento de los vehículos. La toma de decisiones en la gestión de la cadena de suministro implica el uso de métodos cualitativos y cuantitativos. Los métodos cuantitativos utilizan algoritmos predictivos y se basan típicamente en optimización y simulación. Tanto la optimización como la simulación tienen ciertas áreas de aplicación. Por ejemplo, se puede optimizar las ubicaciones de las instalaciones de la cadena de suministro y luego simular sus políticas de control de inventario, transporte y reglas de abastecimiento. Por tanto, es posible representar la cadena de suministro mediante el modelado analítico y el modelado con simulación. Igualmente se puede combinar la simulación y la optimización dependiendo del objetivo del modelado. Una combinación posible sería optimización como punto de partida y simulación como método de análisis ampliado, p. Ej., para precisar soluciones obtenidas analíticamente mediante análisis de procesos dinámicos [1]. Un modelo de optimización comprende una función objetivo, un sistema de restricciones y un conjunto de variables de decisión y parámetros de entrada, además la mayoría de los modelos de optimización son deterministas y estáticos. De otro lado, la simulación imita el comportamiento dinámico de un sistema mediante un modelo. Al cambiar la cadena de suministro simulada, se espera comprender mejor la dinámica de la cadena de suministro física. En lugar de derivar una solución matemática, se experimenta cambiando los parámetros del sistema y estudiando los resultados. Es por eso que la

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.558>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

simulación puede ser una herramienta ideal para analizar el desempeño de un diseño de cadena de suministro propuesto que se deriva de un modelo de optimización. La simulación basada en optimización es un área prometedora para apoyar a los gerentes de operaciones y cadena de suministro.

Los algoritmos predictivos actualmente se están aplicando en la gestión logística de la cadena de suministro como soporte a la toma de decisiones. Una breve revisión de la literatura da cuenta de ello. Por ejemplo, en [8], proponen acciones de mejora a la gestión de las cadenas de suministro que intervienen en un programa local de Producción y Ventas de Materiales de la Construcción utilizando una metodología basada en los procesos de pensamiento lógico. En [9] se plantea el modelo *Location Inventory Problem* (LIP) en decisiones estratégicas y tácticas, buscando determinar la ubicación para instalar uno o más centros de distribución (CD) y luego la asignación de cada minorista a un CD, determinando con qué frecuencia ordenar en cada CD y establecer los niveles de inventario a un mínimo costo total de localización, asegurando un nivel específico de servicio. En [10]-[12] abordan los problemas de localización-ruteo como apoyo a la toma de decisiones estratégicas y operativas, buscando que la combinación de los dos modelos puede converger a un menor costo. Apoyo a decisiones operativas que tienen que ver por ejemplo con la gestión de la flota de vehículos según su tamaño: para aquellos que cuentan con un solo vehículo [13], los que tienen una cantidad M de vehículos que pueden ser homogéneos [14], [15], [16] y los de flota heterogénea [17].

A nivel de implementación informática de algoritmos predictivos encontramos en el mercado del software anyLogistix PLE (versión de libre descarga) el cual combina enfoques de optimización analítica [3] con tecnologías de simulación dinámica [4] que ofrece un conjunto completo de herramientas para el análisis de la cadena de suministro de extremo a extremo. Incluye 4 herramientas de modelamiento: ubicación de instalaciones (GFA), optimización de la red (NO), simulación (SIM) y optimización del transporte (TO); las cuales se pueden utilizar en secuencia para modelar cadenas de múltiples etapas; proveedores, fabricantes centros de distribución y clientes. [5]. Las simulaciones (SIM) en anyLogistix se pueden ejecutar utilizando los resultados de la optimización (dados por las herramientas GFA, NO y TO) e incluyen políticas adicionales de control de inventario, producción, transporte y abastecimiento dependientes del tiempo y que son difíciles de implementar en el nivel de optimización de la red. Igualmente permite el empleo de más de 100 KPI (indicadores clave de desempeño) para evaluar la calidad de las decisiones en estas áreas, así como su impacto en el desempeño financiero, operativo y de nivel de servicio al cliente.

Con el fin de mostrar la aplicación de estas tecnologías de optimización y simulación combinadas se presenta en este trabajo el modelamiento de una cadena de abastecimiento de azúcar de 3 etapas: 1 proveedor en Colombia, 3 centros de distribución (Colombia, Ecuador y Perú) y clientes ubicados en estos países. Se utilizará la herramienta GFA para encontrar la ubicación óptima de los centros de distribución en cada país; seguidamente se empleará NO para afinar la ubicación precisa de estos y finalmente SIM para evaluar diversos escenarios de operación mostrando mediante KPIs como se apoya la gestión de la cadena diseñada.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para diseñar y evaluar esta cadena de suministro consta de los siguientes pasos y se basa en la metodología propuesta en algunos tutoriales del software a emplear [6] y aportes de los autores.

- A. *Ubicación óptima de centros de distribución (DCs) por país*
 - a. Indagar por el consumo per cápita del producto (azúcar) en cada país y establecer tasas objetivo de participación en el mercado por país.
 - b. Generar la ubicación geográfica y demanda de los clientes por país acorde a las ciudades con mayor población.
 - c. Obtener la ubicación óptima de cada centro de distribución por país.
 - d. Establecer el suministro de cada centro de distribución al respectivo grupo de clientes.
- B. *Reubicación de DCs basados en infraestructura vial y de servicios existentes*
 - a. A partir de las ubicaciones para los DCs sugeridas en el paso anterior encontrar las ubicaciones más apropiadas en términos de: carreteras disponibles reales, costos reales de transporte, costos operativos e infraestructura.
 - b. Definir cuantos DCs alternativos seleccionar, agregar una fuente de abastecimiento para los DCs y ajustar los parámetros de la política de cálculo de costos.
 - c. Seleccionar las mejores ubicaciones alternativas para los DCs.
- C. *Simulación de la cadena de suministro*
 - a. Definir parámetros de abastecimiento.
 - b. Definir políticas de inventario.
 - c. Configurar los KPIs a emplear.
 - d. Simular el modelo.

III. RESULTADOS

Al aplicar la metodología propuesta y mediante el empleo del software de libre descarga Anylogistix PLE (*Personal Learning Edition*) versión 2.15.1, se obtienen los siguientes resultados:

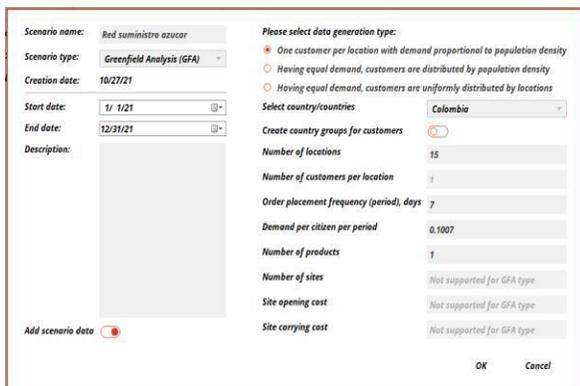
- A. *Ubicación optima de centros de distribución (DCs) por país*
 - a. *Indagar por el consumo per cápita del producto (azúcar) en cada país y establecer tasas objetivo de participación en el mercado.*

Las estadísticas de mercado muestran que, en promedio, el consumo anual de azúcar per cápita constituye: 35 kg en Colombia, 22,7 kg en Ecuador y 23,5 kg en Perú [7] tomando promedio entre años 1991 al 2012. Igualmente, con el diseño de la cadena de suministro se planea cubrir al menos el 15% del mercado colombiano en las 15 ciudades más pobladas, 10% del ecuatoriano en las 10 ciudades más pobladas y 12% del peruano en sus 10 ciudades más pobladas.

- b. *Generar la ubicación geográfica y demanda de los clientes por país acorde a las ciudades con mayor población*

Crearemos inicialmente una red de suministro de azúcar en Colombia. Luego la extenderemos a los países de Ecuador y Perú. Para Colombia, si consideramos que los clientes hacen pedidos semanalmente (o sea cada 7 días), lo que significa que cada 7 días se piden 0,671 kg de azúcar per cápita ($35 / 365 * 7 = 0,671$ kg). Esperamos captar al menos el 15% del mercado, que sería 0,1007 kg ($0,671 * 0,15$) de demanda per cápita por semana. En la Fig. # 1 se muestra como configurar el nuevo escenario:

Fig. 1 Parámetros para generar ubicación y demanda clientes para el país Colombia.



Como se puede ver en la Fig. # 2, anyLogistix generó: 1 cliente por c/u de las 15 ciudades más pobladas de

Colombia, demanda para cada cliente (ciudad), distribuida entre los ciudadanos en función de la densidad de población.

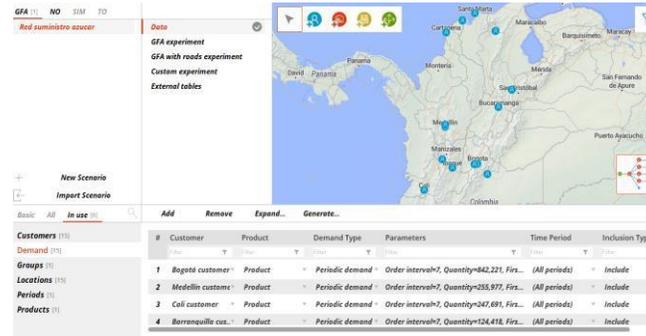


Fig. 2 Resultados de ubicación y demanda de clientes para el país Colombia.

Considerando igual procedimiento para generar las ubicaciones y demanda de los clientes para los países de Ecuador y Perú. Así, para Ecuador se considerará una demanda per cápita semanal de 0.043 kg y para Perú de 0.054 kg, teniendo como base los parámetros de mercado dados. La Fig. # 3 muestra las ubicaciones de los clientes en las ciudades más pobladas de los 3 países.



Fig. 3 Resultados de ubicación de clientes para los 3 países.

- c. *Obtener la ubicación optima de cada centro de distribución por país.*

Empleando la herramienta GFA que permite generar las ubicaciones óptimas según el algoritmo del centro de gravedad, el cual considera solo distancias y volúmenes de demanda satisfecha, se obtuvo la ubicación (preliminar) de cada uno de los centros de distribución mostrados en la Fig. # 4, en color rojo. Además, se muestra los clientes que atiende cada DC.

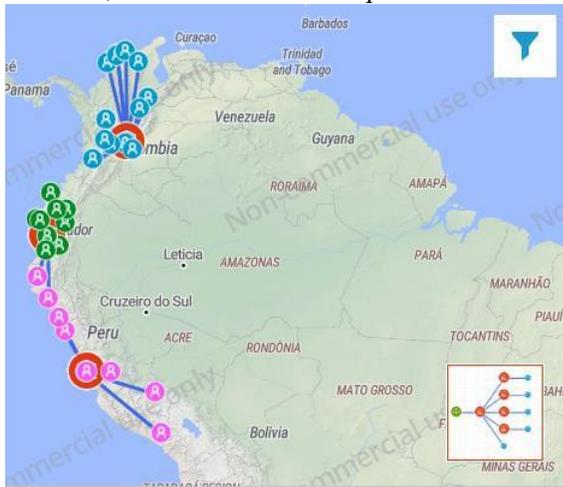


Fig. 4 Ubicación centros de distribución

En la Tabla I se muestran las coordenadas precisas de las ubicaciones de los CDs sugeridos por la herramienta GFA. Dado que el experimento GFA no tiene en cuenta las carreteras, las ciudades, los medios de transporte, etc., puede sugerir colocar los CDs en la cima de una montaña o en el mar, por lo que será necesario posteriormente reubicar estos de tal manera que queden muy cercanos a la infraestructura requerida.

TABLA I
COORDENADAS GEOGRÁFICAS SUGERIDAS PARA LOS CDs

Nombre	Latitud	Longitud	País
GFA DC 1	4.60971	-74.08175	Colombia
GFA DC 2	-12.04318	-77.02824	Peru
GFA DC 3	-2.19616	-79.88621	Ecuador

En La Tabla II, se muestra qué % y cantidad de demanda de producto es cubierta según distancia entre los CDs y los clientes.

TABLA II
TOTAL DEMANDA CUBIERTA SEGÚN DISTANCIA

Distancia, en km	Demanda en %	Demanda en kg
0.0	44,8	71.229
100.0	50,1	79.678
200.0	55,5	88.107
300.0	69,7	110.751
400.0	79,4	126.094
500.0	82,9	131.744
600.0	84,6	134.290
700.0	89,4	142.028
800	100,0	158.729

d. Establecer el suministro de cada centro de distribución al respectivo grupo de clientes

Los nombres dados automáticamente por la herramienta GFA de la Tabla I se cambian manualmente de tal manera que se identifique el país. Se elimina el cliente Iquitos en razón a que no tiene acceso carretable y se cambia el nombre a los grupos de clientes que atiende cada DC. En la Tabla III se muestra como se parametrizo el suministro de cada centro de distribución al respectivo grupo de clientes. Es de anotar, según se observa en la Fig. # 4, que el CD Ecuador atendería 2 clientes de Perú.

TABLA III
SUMINISTRO DE LOS DC A LOS CLIENTES

Destino entrega	Producto	Fuente abastecimiento
Cientes CD Colombia	Azucar	CD Colombia
Cientes CD Ecuador	Azucar	CD Ecuador
Cientes CD Peru	Azucar	CD Peru

B. Reubicación de DCs basados en infraestructura vial y de servicios existentes

La optimización de la red (NO) es otra herramienta analítica para optimizar la cadena de suministro. La usaremos para encontrar ubicaciones exactas de los CDs teniendo en cuenta los datos derivados de los resultados del experimento GFA. Por ubicaciones exactas nos referimos a las mejores ubicaciones en términos de: carreteras disponibles reales, costos reales de transporte, costos de operación e infraestructura de servicios.

a. A partir de las ubicaciones para los DCs sugeridas en el paso anterior encontrar las ubicaciones más apropiadas en términos de: carreteras disponibles reales, costos reales de transporte, costos operativos e infraestructura.

Observando los resultados generados por GFA vemos que ejecutó un cálculo aproximado de las ubicaciones de los CDs. No consideró carreteras, ciudades, peculiaridades de áreas geográficas, etc. Necesitamos analizar las ubicaciones actuales y encontrar las mejores ubicaciones considerando la infraestructura existente. Por cuestiones de espacio se evaluará solo ubicaciones alternativas para el CD de Colombia. En la Fig. # 5 se muestra la ubicación sugerida por GFA para el CD de Colombia. Como se ve quedo ubicado en la zona centro de la ciudad cuyos costos de apertura y operación son muy altos.

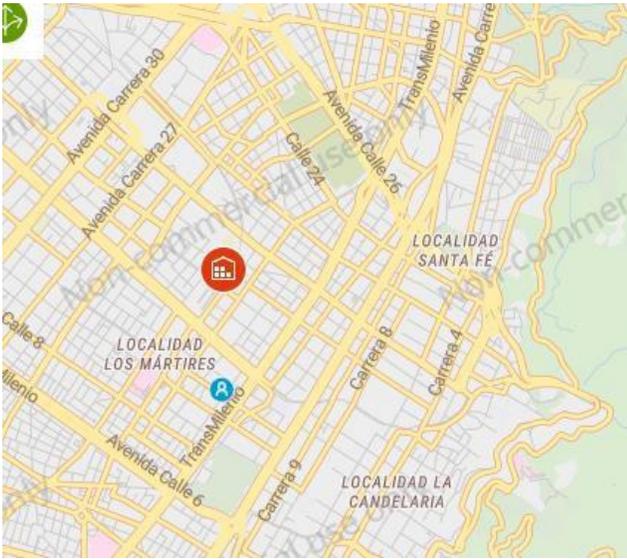


Fig. 5 Ubicación preliminar en la ciudad de Bogotá del CD para Colombia

Dado que no podemos decir dónde colocar exactamente este centro de distribución en particular debido a su ubicación inicial, debemos definir varias ubicaciones potenciales, que cumplirían con nuestros requisitos. Estas ubicaciones serán utilizadas por el experimento de optimización de red (NO), que intentará encontrar la ubicación óptima (o ubicaciones, según los parámetros establecidos) para este CD.

Consideremos las ciudades de Fusagasugá y Flandes como posibles ubicaciones. En la Fig. # 6 se muestra la ubicación propuesta en Fusagasugá, aprovechando cercanía con la vía que va hacia el Valle del Cauca y en una zona donde el costo de los terrenos no es tan alto como en Bogotá.

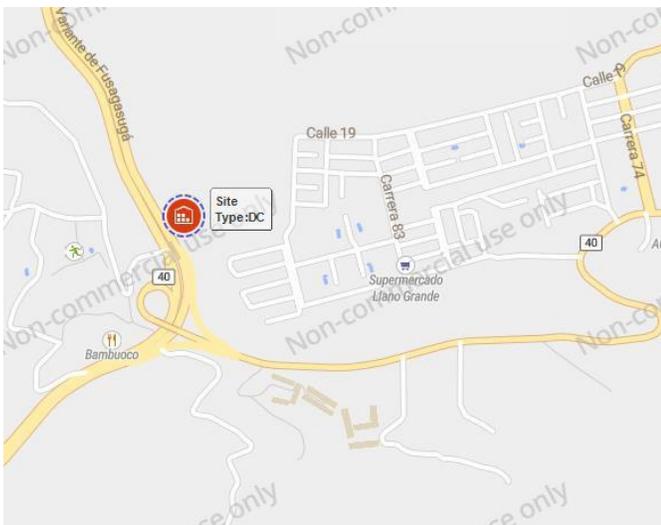


Fig. 6 Ubicación alternativa en la ciudad de Fusagasugá del CD para Colombia

En la Fig. # 7 se muestra la ubicación propuesta en la ciudad de Flandes, aprovechando la cercanía con importantes vías hacia el sur y occidente del país. Además, costos de apertura y operación bajos.

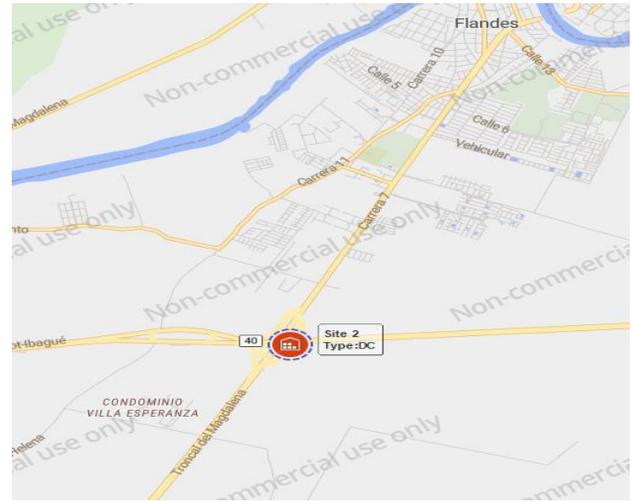


Fig. 7 Ubicación alternativa en la ciudad de Flandes del CD para Colombia

En la Fig. # 8 se muestra la parametrización de las opciones de CDs. Para el caso de Perú y Ecuador se modelan con el parámetro *Include*, lo que significa que estos centros se deben considerar teniendo en cuenta las ubicaciones actuales. Para el caso de Colombia se considera el parámetro *Consider*, lo que indica que se va a evaluar cual de los tres sería la mejor opción.

#	Name	Type	Location	Initially Open	Inclusion T...	Icon
1	CD Colombia Bogota	DC	CD Colom..	<input type="checkbox"/>	Consider	
2	CD Peru	DC	CD Peru I...	<input type="checkbox"/>	Include	
3	CD Ecuador	DC	CD Ecuad...	<input type="checkbox"/>	Include	
4	CD Colombia Fusagasuga	DC	CD Colom..	<input type="checkbox"/>	Consider	
5	CD Colombia Flandes	DC	CD Colom..	<input type="checkbox"/>	Consider	

Fig. 8 Parametrización CDs alternativos

- b. Definir cuantos DCs alternativos seleccionar, agregar una fuente de abastecimiento para los DCs y ajustar los parámetros de la política de cálculo de costos

Se crea en la tabla *Groups* un grupo que contenga los CDs alternativos (se llamó *CDs alternativos Col*). En la tabla *Assets Constraints* procedemos a crear una condición que será utilizada por la herramienta NO y que le indicará que solo se debe escoger un CD del grupo de CDs alternativos. La Fig. # 9 muestra esta condición.

#	Group	Min	Max	Time Period	Inclusion Type
1	[CDs alternativos Col]	1	1	(All perio...	Include

Fig. 9 Condición de solo escoger un CD alternativo

Tener en cuenta que es obligatorio tener un proveedor para ejecutar el experimento NO. Colocaremos como proveedor a uno de los grandes ingenios azucareros ubicado en el departamento del Valle del Cauca, específicamente ubicado en cercanías de la ciudad de Palmira. La Fig. # 10 muestra la ubicación seleccionada para este proveedor.



Fig. 10 Ubicación proveedor de azúcar

En la Fig. # 11 se muestra la configuración de la tabla *Product Flows* denotando que un ingenio azucarero ubicado en la ciudad de Palmira será la fuente de abastecimiento para los CDs en Colombia y demás países.

Source	Expand S...	Destination	Expand D...	Product	Expand Pr...	Product Unit
CD Colo...	<input checked="" type="checkbox"/>	[Clientes...]	<input checked="" type="checkbox"/>	Azucar	<input checked="" type="checkbox"/>	kg
CD Ecu...	<input checked="" type="checkbox"/>	[Clientes...]	<input checked="" type="checkbox"/>	Azucar	<input checked="" type="checkbox"/>	kg
CD Peru	<input checked="" type="checkbox"/>	[Clientes...]	<input checked="" type="checkbox"/>	Azucar	<input checked="" type="checkbox"/>	kg
Proveed...	<input checked="" type="checkbox"/>	(All sites)	<input checked="" type="checkbox"/>	Azucar	<input checked="" type="checkbox"/>	kg

Fig. 11 Parametrización flujos de productos

A continuación, se establecen los parámetros de la política de cálculo de costos. El costo de transporte se puede encontrar en la tabla *Paths*. Se utilizará el cálculo basado en la distancia recorrida. En dólares el costo por kg x km recorrido es aproximadamente en dólares: 0.0000377074 (se paga aprox. cop \$ 15,000 x tonelada x cada 100 km recorridos). En la Fig. # 12 se muestra la configuración de este costo en la tabla *Paths*.

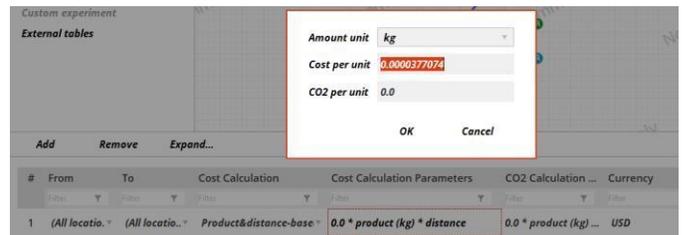


Fig. 12 Parametrización costo de transporte

Finalmente se establecerá el precio de venta del producto (kg de azúcar) y su costo de adquisición por parte de los CDs. En la Fig. # 13 se muestran estos configurados en la tabla *Products*.

#	Name	Unit	Selling Price	Cost	Currency
1	Azucar	kg	0.9	0.7	USD

Fig. 13 Parametrización precio de venta y costo de adquisición

- c. *Seleccionar las mejores ubicaciones alternativas para los CDs.*

Para lograr esto se corre el experimento del tipo NO obteniéndose que la mejor configuración corresponde al DC ubicado en Fusagasugá (Colombia) y los demás en Guayaquil (Ecuador) y Lima (Perú). Esta configuración arroja una utilidad aproximada de 27.5 millones de dólares por año y un flujo de producto de 314.954 toneladas según se muestra en la Fig. # 14.

#	Sites	Profit (NetOp)	Flows Amount
1	Iteration 1: CD Peru, CD Ecuador, CD Colombia Fu...	27,565,308.204	314,954,090

Fig. 14 Mejor configuración según utilidad para los CDs

En la Fig. # 15 se puede observar el esquema final de la cadena de suministro incluyendo las carreteras reales que se utilizarían para el transporte del producto. Obsérvese todos los nodos de la cadena: proveedor, CDs y clientes.

En la Fig. # 16, puede verse uno de los resultados que arroja el experimento NO: flujos detallados de producto de la red.

C. Simulación de la cadena de suministro

La herramienta de simulación no es un método analítico para optimizar la cadena de suministro (en comparación con los experimentos de optimización de red NO y GFA), pues la evolución en el tiempo es relevante en este caso. El experimento se utiliza, entre otras cuestiones para configurar correctamente las políticas de inventario, encontrar el volumen óptimo de stock de productos, eliminar la posibilidad de pedidos perdidos y ejecutar escenarios hipotéticos para ver cómo los cambios que realiza afectan el resultado.

El modelo de entrada lo constituye el escenario de resultados NO obtenido en el paso anterior.

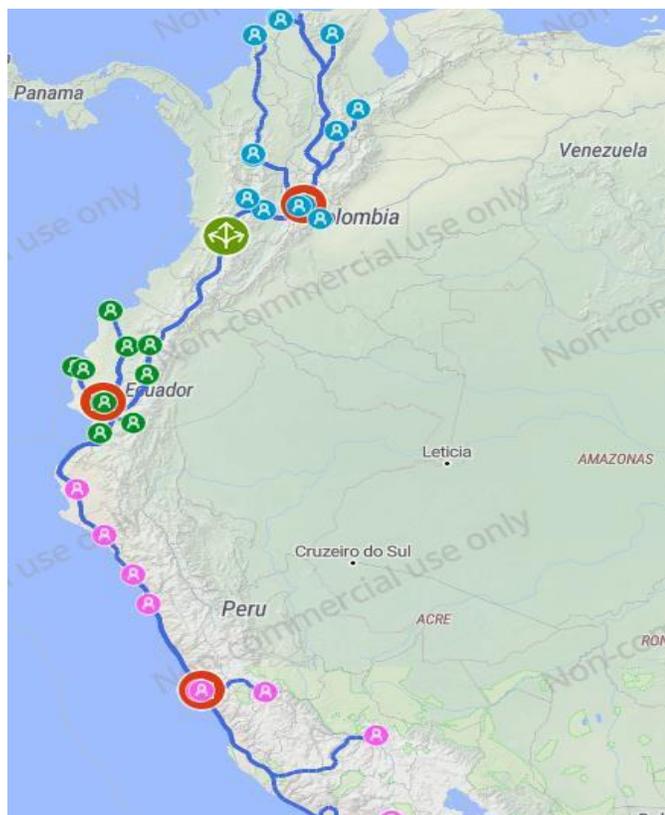


Fig. 15 Configuración final de la cadena de suministro

Iteration	Period	From	To	Arrival Period	Product	Flow	U...	Distance	Vehicle type	
1	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Cali customer	Time period	Azucar	13,127,623.0	kg	--	--	460.4	Vehicle type
2	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Bucaramanga...	Time period	Azucar	2,787,853.0	kg	--	--	408.1	Vehicle type
3	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Valledupar cus...	Time period	Azucar	2,310,853.0	kg	--	--	846.0	Vehicle type
4	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Bogotá custo...	Time period	Azucar	44,637,713.0	kg	--	--	3.3	Vehicle type
5	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Cúcuta custo...	Time period	Azucar	3,511,250.0	kg	--	--	593.3	Vehicle type
6	1	Time peri...	CD Colombia Fusa	Barranquilla cu...	Time period	Azucar	6,594,154.0	kg	--	--	976.3	Vehicle type

Fig. 16 flujos detallados producto en la red de suministro

a. Definir política de abastecimiento

La política de abastecimiento se utiliza para definir los productos a enviar, su (s) fuente (s) y destino (s). Antes de crear las políticas, crearemos un grupo de centros de distribución. Este paso simplificará el proceso de definición de políticas de inventario y abastecimiento, ya que las definiremos para todo el grupo, en lugar de para cada centro de distribución individualmente. A este grupo se le da el nombre de *Grupo CDs* e incluirá a los 3 CDs definidos por la herramienta NO.

Definiremos la política de abastecimiento para organizar el proceso de envío del producto desde el origen hasta los destinos de entrega, tanto desde el proveedor a los CDs como de los CDs

a los clientes. Para ello creamos 2 nuevos registros en la tabla *Sourcing*. El primero muestra el abastecimiento desde el proveedor de azúcar a los CDs y el segundo desde los CDs a los clientes. Dado que en dicha tabla aparecen todos los flujos creados en los experimentos GFA y NO, estos se desactivan modificando el parámetro *Type* a *Exclude*. En la Fig. # 17 se muestra cómo queda configurada la tabla *Sourcing*.

#	Delivery Destinat...	Product	Type	Parameters	Sources	Time Period	Inclusion Type
40	[Clientes CD Peru...	Azucar	Closest (Dynam...	No parameters	CD Peru	Time period: 202...	Exclude
41	[All sites]	Azucar	Closest (Dynam...	No parameters	Proveedor Azucar...	[All periods]	Exclude
42	[Grupo CDs]	Azucar	Closest (Fixed S...	No parameters	Proveedor Azucar...	[All periods]	Include
43	[All customers]	Azucar	Closest (Fixed S...	No parameters	[Grupo CDs]	[All periods]	Include

Fig. 17 Configuración final de la tabla *Sourcing*

b. Definir política de inventario

Se establecerá que los centros de distribución comprarán Azúcar utilizando una política de inventario mínimo-máximo, que permite pedir productos cuando el nivel de inventario cae por debajo de un punto de reabastecimiento fijo. Para ello se configura la tabla de *Inventory*. Esta ya contiene políticas, que fueron creadas por las herramientas GFA y NO. No las usaremos ya que hemos creado un grupo de CDs que contiene todos los almacenes que necesitamos. Para desactivar las demás la columna *Inclusion type* se cambia a *excluidas*. Se agrega entonces un nuevo registro a esta tabla con la política *min/max*, en la cual el valor mínimo representa un nivel de existencias que activa la re-orden y el valor máximo representa el nivel de stock objetivo. En la Fig. # 18 se muestra una configuración de política de inventario con parámetros $min=1000$ kg y $max=5000$ kg y un inventario inicial para cada CD de 2500.

#	Facility	Product	Policy Type	Policy Parameters	Initial Stock, units	Periodic Check	Period
1	[CDs alternativa...	Azucar	Min-max policy	s=0.0, S=0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0
2	CD Ecuador	Azucar	Min-max policy	s=0.0, S=0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0
3	CD Peru	Azucar	Min-max policy	s=0.0, S=0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0
4	[Grupo CDs]	Azucar	Min-max policy	s=1,000.0, S=5,000.0	2,500.0	<input type="checkbox"/>	1.0

Fig. 18 Configuración final de la tabla *Inventory*

c. Configurar los KPIs a emplear

Para el caso vamos a configurar solo KPI financieros: Ingreso, Costo y Utilidad. Ambos se desplegarán en forma de tabla y grafica.

d. Simular el modelo

Se simulo la cadena de suministro modelada durante 1 año (2021). En la Fig. # 19 se muestran los parámetros empleados para hacer dicha simulación.

Durante la simulación puede verse como el tiempo va transcurriendo y mediante puntos de color lila en movimiento sobre las rutas que representan los flujos de productos a través de la cadena. En la Fig. # 20 se muestra una instantánea de la simulación en el momento 1/9/2021 a las 12:54 pm.

Experiment start:

Time period [v]

Start date: 1/ 1/21 [c]

Experiment end:

Time period [v]

End date: 12/31/21 [c]

Random seed: 0

Finances statistics unit: USD [v]

Product statistics unit: kg [v]

Time statistics unit: day [v]

Distance statistics unit: km [v]

Configure statistics

Pre-processor

Default [v] [≡]

Post-processor

Save results [v] [≡]

Fig. 19 Configuración parámetros simulación

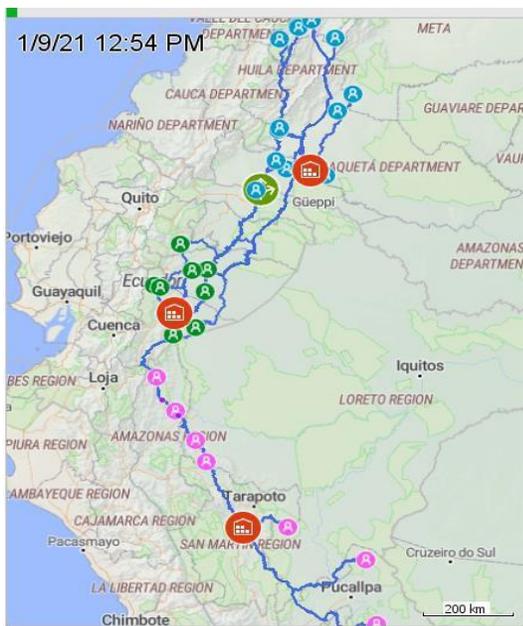


Fig. 20 Una instantánea de la simulación

En la Fig. # 21 se muestran los KPI Ingresos, Costos y Utilidad en forma tabular obtenidos al finalizar la simulación.

Total Cost, Profit, Revenue

	Statistics name	Value	Unit
1	Profit	27,358,739.3	USD
2	Revenue	136,748,145.0	USD
3	Total Cost	109,389,405.7	USD

Fig. 21 KPIs financieros al simular 1 año

En la Fig. # 22 se muestran los KPI en forma gráfica.

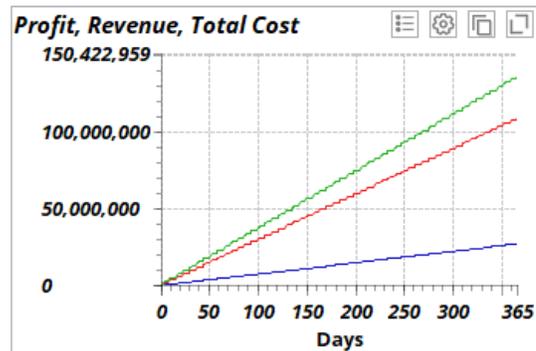


Fig. 22 Evolución KPIs financieros a través del tiempo

Igualmente es posible ver el estado final de cada nodo de la cadena de suministro. Así, en la Fig. # 23 se muestra el diagrama de proceso del CD ubicado en Guayaquil (Ecuador). En el primer bloque, se muestra las órdenes de producto recibidas de los clientes, en el segundo las ordenes colocadas por este CD al proveedor y en el tercer las órdenes recibidas del proveedor.

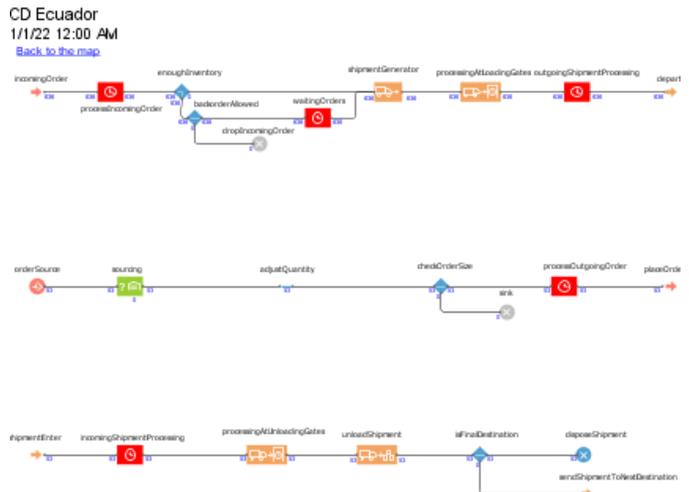


Fig. 23 Estado final de un CD

En la Fig. # 24 se muestra el diagrama de proceso del proveedor de azúcar ubicado en Palmira (Colombia). En el bloque, se

muestra las órdenes de producto recibidas y despachadas a los CDs.

Proveedor Azucar

1/1/22 12:00 AM

[Back to the map](#)



Fig. 24 Estado final del proveedor de azucar

En la Fig. # 25 se muestra el diagrama de proceso de 1 cliente ubicado en Ibagué (Colombia). En el primer bloque, se muestra la demanda generada y en el segundo las órdenes recibidas desde el CD ubicado en Fusagasugá (Colombia).

Ibagué customer

1/1/22 12:00 AM

[Back to the map](#)

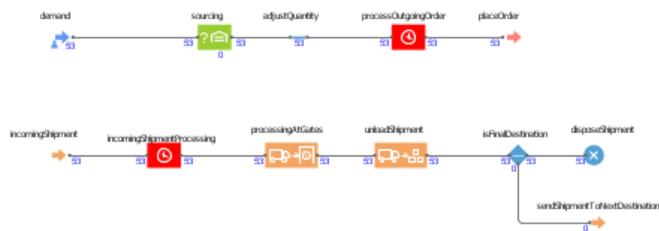


Fig. 25 Estado final de un cliente

IV. CONCLUSIÓN

Una actividad importante en la gestión de las cadenas de suministro es el diseño de las mismas. Este diseño involucra la toma de decisiones que implican inversiones altas de capital y asignación de recursos importantes. Así, por ejemplo, la elección de las ubicaciones para los centros de distribución debe ser optima y por tanto requieren el empleo de herramientas matemáticas de optimización. Igualmente, la simulación es considerada como una potente y útil herramienta para el análisis, medición y evaluación tanto de sistemas logísticos nuevos, así como también para la mejora de los existentes, en razón a la incertidumbre involucrada y a la necesidad de estudiar estos sistemas en el tiempo. La herramienta utilizada en esta ponencia muestra la utilización simultanea tanto de la optimización como la simulación, a fin de divulgar entre los

interesados otras formas de hacer gestión de cadenas de suministro apoyados en nuevas tecnologías.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración a la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Igualmente, al fabricante del software anylogistix por permitir el uso de su versión PLE sin costo de uso de licencia.

REFERENCIAS

- [1] Ivanov D., Tsipoulanidis A., Supply chainhönberger J. Global Supply Chain and Operations Management. Springer, 1st edition. (2017)
- [2] Ivanov D. Operations and Supply chain Simulation with AnyLogic available at www.anylogic.com/books. (2016).
- [3] <https://www.ibm.com/co-es/analytics/cplex-optimizer>
- [4] <https://www.anylogic.com/supply-chains/>
- [5] <https://www.anylogistix.com/alg-features/>
- [6] <https://anylogistix.help/tutorial/tutorial.html>
- [7] <https://www.sdpt.net/americaconsumodeazucarpercapita.htm>
- [8] Covas Varela, Daylí, Martínez, Gretel, & González Hernández, Gilberto. (2022). perfeccionamiento de la gestión de las cadenas de suministro del programa local de producción y venta de materiales de construcción. *Ciencias administrativas*, (20), 4. Recuperado en 28 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-37382022000200004&lng=es&tlng=es.
- [9] F. You, and I. E. Grossmann, “Mixed-integer nonlinear programming models and algorithms for large-scale supply chain design with stochastic inventory management”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 47, no. 20, pp. 7802-7817, 2008. <https://doi.org/10.1021/ie800257x> †339, 340, 341, 343, 344
- [10] M. M. Fazel-Zarandi, O. Berman, and J. C. Beck, “Solving a stochastic facility location/fleet management problem with logic-based Benders’ decomposition”, *IIE Trans.*, vol. 45, no. 8, pp. 896-911, 2013. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2012.705452> †342, 347
- [11] A. M. Caunhye, Y. Zhang, M. Li, and X. Nie, “A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies”, *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 90, pp. 161-176, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.10.011> †342, 344, 345, 346, 347, 361
- [12] N. Ghaffari-Nasab, S. G. Ahari, and M. Ghazanfari, “A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands”, *Sci. Iran.*, vol. 20, no. 3, pp. 919-930, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2013.02.006> †342, 344, 345, 346, 347, 358
- [13] A. M. Caunhye, Y. Zhang, M. Li, and X. Nie, “A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies”, *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 90, pp. 161-176, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.10.011> †342, 344, 345, 346, 347, 361
- [14] G. Laporte, F. Louveaux, and H. Mercure, “Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems”, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 71-78, 1989. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90354-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90354-8) †342, 344, 345, 346, 347
- [15] W. Xie, Y. Ouyang, and S. C. Wong, “Reliable location-routing design under probabilistic facility disruptions”, *Transp. Sci.*, vol. 50, no. 3, pp. 1128-1138, 2016. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0630> †343, 344, 345, 346, 347
- [16] N. Herazo-Padilla, J. R. Montoya-Torres, S. Nieto Isaza, and J. Alvarado-Valencia, “Simulation-optimization approach for the stochastic location-routing problem”, *J. Simul.*, vol. 9, no. 4, pp. 296-311, 2015. <https://doi.org/10.1057/jos.2015.15> †344, 347
- [17] E. Pekel, and S. Soner Kara, “Solving fuzzy capacitated location routing problem using hybrid variable neighborhood search and evolutionary local search”, *Appl. Soft Comput.*, vol. 83, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105665> †344, 346, 347, 358, 361

