

# Dinámica de sistemas para la gestión de salidas de un almacén de certificación portuaria

## *Systems dynamics for the management of a certification port storage's orders*

Dra. Rocío Ramos Hernández<sup>1</sup>, Dra. Jesabel Gómez Sánchez<sup>1</sup>✉, Dra. Paula Rosalinda Antonio Vidaña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, México

### RESUMEN

La cadena de suministro del azúcar cuenta con procesos logísticos complejos que cuando no son coordinados de manera tiene como consecuencia directa la disminución de la satisfacción del cliente. En la empresa mexicana Logistics, dedicada a almacenar, verificar y mandar costales de azúcar a buques de carga para su exportación, este proceso genera un contrato en el cual se pacta el tiempo de entrega de la carga solicitada (usualmente expresado en horas). En este proceso, los últimos meses no se ha cumplido con la meta establecida de satisfacción debido a que las entregas pactadas se han estado retrasando por horas o incluso días. Por esta razón, en el presente artículo se desarrolla un modelo de simulación que permite evaluar el comportamiento actual del sistema, tomando en cuenta los tiempos de ocio programados y no programados. Se identificó que menos del 10 % de las cargas son entregadas de manera satisfactoria a causa de prometer un determinado tiempo de entrega, por lo cual el modelo de simulación implementado otorga al usuario el tiempo estimado promedio que debe pactar para no reducir la satisfacción del cliente, teniendo como resultado un aumento de casi el 90 % en el número de cargas entregadas a tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** dinámica de sistemas; gestión de almacenes; sistemas complejos; cadena de suministros.

### ABSTRACT

The sugar supply chain has complex logistical processes that, when not coordinated, have the direct consequence of reducing customer satisfaction. In the Mexican company Logistics, dedicated to storing, verifying, and sending bags of sugar to cargo ships for export, this process generates a contract in which the delivery time of the requested cargo is agreed (usually expressed in hours). In this process, in recent months the established goal of satisfaction has not been met because the agreed deliveries have been delayed by hours or even days. For this reason, in this article a simulation model is developed that allows evaluating the current behavior of the system, considering scheduled and unscheduled leisure times. It was identified that less than 10% of the loads are delivered satisfactorily due to promising a certain delivery time, for which the implemented simulation model gives the user the average estimated time that must be agreed upon in order not to reduce customer satisfaction, resulting in an almost 90% increase in the number of loads delivered on time.

**KEYWORDS:** system dynamics; storage management; complex systems, supply chain.

#### Correspondencia:

**DESTINATARIO:** Jesabel Gómez Sánchez.

**INSTITUCIÓN:** Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.

**DIRECCIÓN:** Av. Universidad núm. 350, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Veracruz, México, C. P. 94910.

**CORREO ELECTRÓNICO:** jesabel.gomez@utcvc.edu.mx

**Fecha de recepción:** 27 de julio de 2023. **Fecha de aceptación:** 20 de agosto de 2023. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2023.



## I. INTRODUCCIÓN

La industria azucarera en México tiene un papel fundamental en el desarrollo económico, ya que es uno de los sectores más importantes del país que genera 930 000 empleos directos y una producción de 6.12 millones de toneladas anuales, de las cuales el 18 % se destina a las exportaciones, teniendo como mayores socios comerciales a los Estados Unidos y Puerto Rico, quienes adquieren el 67.6 % del total.

En la república mexicana, el estado de Veracruz genera el 37 % de la participación nacional, por lo cual es considerado como el mayor productor de azúcar nacional [1]-[3]. Derivado de lo anterior, la industria azucarera busca ser más competitiva y para esto debe considerar como parte de sus funciones principales el diseño de procesos logísticos, los cuales juegan un papel estratégico en la cadena de suministros, con el fin de mejorar la competitividad y satisfacción de los clientes [4]-[6]. En ese sentido, se considera [7] que el éxito de las empresas se centra en el principio competitivo de un modelo operacional en donde los indicadores y las prácticas están alineadas al marco estratégico de la organización, en busca de la actividad competitiva bajo el objetivo de capturar el mayor porcentaje de valor de la cadena de suministro [4]-[6], [8].

Por esto, se destaca de manera importante la correcta administración de la cadena de suministro como factor estratégico de satisfacción, donde parte del valor agregado es la disponibilidad en tiempo y forma del producto [9], [10]. Por lo tanto, la gestión de los almacenes es parte fundamental del proceso crítico debido a que se encarga de la administración de los inventarios y gestiona la necesidad de los clientes, así como el desarrollo de estrategias competitivas que forman parte integral de la cadena de valor.

Para lograr lo anterior, se necesita la integración y coordinación de sus actores y procesos involucrados para satisfacer las necesidades a través de la adecuada identificación e información de los productos, así como el análisis de los tiempos y movimientos que permita el diseño, la creación y selección de los procesos, herramientas, equipos y habilidades ideales [11]-[13]. Por tanto, las decisiones de logística deben ser creadas de acuerdo a las estrategias de negocio, pero al mismo tiempo en la búsqueda de superar a la competencia y el incremento de los índices de satisfacción del cliente, lo que implica

mayores costos, llevando a los clientes a ser más exigentes y preferir plazos de entrega más estrictos [14]. Este es el caso de la empresa Logistics, que se dedica a certificar productos de exportación como el azúcar, cuenta con diferentes almacenes en la ciudad de Veracruz, Veracruz, y se enfrenta al problema de mantener un nivel de satisfacción bajo debido al incumplimiento en los plazos de entrega con los clientes.

Lo anterior se debe a que los distintos elementos y procesos logísticos que conforman la cadena de suministro crean un sistema complejo con bucles de retroalimentación que son difíciles de prever, sin embargo, existen herramientas que sirven para modelar y simular este tipo de situaciones [15], [16], entre ellas *dinámica de sistemas*, que es una de las más utilizadas y que se basa en el estudio de las relaciones causales que existen entre las partes del sistema para tomar decisiones en entornos complejos.

Para esto, en el presente estudio se utilizaron dos tipos de diagramas: causales y de Forrester, que tienen su origen en la Teoría General de Sistemas [17] que al usarse en conjunto dan como resultado el poder analizar la causa de las variaciones existentes en el sistema, lo que puede permitir incrementar la satisfacción del cliente [18]-[20]. Por otra parte, es posible realizar análisis más complejos de las funciones necesarias a partir de la aplicación de algoritmos, modelos y técnicas que fortalecen y optimizan el transporte de productos, considerando el entorno del almacén, y uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en los procesos de recepción y despacho [21], así como la gestión óptima de los recursos y capacidades del almacén dependiendo de sus características y volumen de los productos a manipular [22].

Uno de los trabajos más relacionados con el presente caso de estudio fue el realizado por Sugars International, quien en 1986 desarrolló el software de modelado y simulación de procesos Sugars para la industria azucarera, que permite incrementar la eficiencia de procesos, capacitación, diseño de nuevas fábricas y evaluar la viabilidad de proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D.) Así, lo que antes tomaba semanas, hoy se puede realizar en un par de horas gracias al software de simulación [23], basándose en la metodología propuesta por Jay Forrester en la obra *Industrial Dynamics* en 1961 [17]. Además, hoy en día, el análisis de la cadena de suministro, que conlleva complejos sistemas dinámicos, puede ser modelado y simulado mediante softwares como

Dynamo, Vensim, Powersim Studio, Consideo, Simile y Stella, que además son utilizados por distintas ciencias.

Por lo descrito previamente, el presente trabajo aborda el tema de la cadena de suministro del azúcar y se centra en la gestión de los almacenes de productos de exportación, por lo que se eligió trabajar con el software Stella 9.1 para realizar el modelado del sistema y la simulación, con el fin de identificar necesidades y evaluar escenarios para el apoyo a la toma de decisiones orientada a mejorar la satisfacción de los clientes.

## II. METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó la metodología de dinámica de sistemas —una herramienta poderosa para simular modelos complejos [24]-[26]—, mediante los cuatro pasos siguientes: conceptualización, formulación, validación y evaluación [27], los cuales se utilizaron para poder crear un modelo de simulación que permitiera determinar tiempos reales de entrega de producto de la empresa Logistics (la cual es llamada así por cuestiones de confidencialidad). Los pasos se describen a continuación:

**Conceptualización.** Etapa donde se identifican las diferentes variables con las que cuenta el sistema, analizando la relación existente entre estas con el fin de crear un diagrama conceptual y un diagrama de bloques que permitan una mejor comprensión del comportamiento del sistema a evaluar.

**Formulación.** A partir de los datos obtenidos en la etapa previa se definen parámetros del comportamiento de las variables mediante modelos matemáticos, los cuales se incorporan al Software Stella 9.1 con el fin de simular el sistema real.

**Validación.** Es necesario comprobar el modelo de simulación para ver si se comporta de acuerdo con el sistema real. Se pueden utilizar diferentes pruebas, como la de *valores extremos*, utilizada para identificar errores en la estructura del modelo y analizar políticas que lleven al modelo a operar en condiciones extremas y a comportarse de manera congruente, y la de *consistencia dimensional*, utilizada para analizar que las ecuaciones o parámetros están conectados correctamente.

**Evaluación.** Una vez comprobado que el modelo de simulación se comporta de acuerdo con lo esperado, este se puede utilizar para generar escenarios. En el presente

trabajo se muestra la simulación del comportamiento real y la propuesta de mejoras a implementar, con el fin de analizar los resultados. Las etapas descritas anteriormente, así como la relación entre las mismas, se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 1.

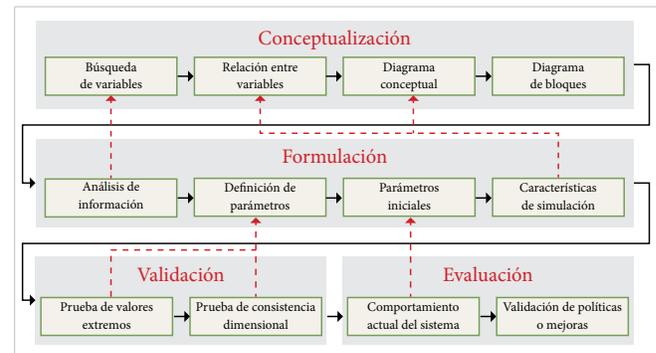


Figura 1. Metodología utilizada. Fuente: Adaptada de [27].

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología descrita en la sección anterior fue aplicada a la empresa Logistics, la cual es una empresa dedicada a la elaboración de reportes; rastreo y seguimiento; muestreo y sellado; auditoría de suministro; sistema de agua de lastre; preparación para los requerimientos de la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos de EUA (FSMA, por sus siglas en inglés); formación y desarrollo; y controles administrativos.

Esta compañía tiene como objetivo proporcionar garantías y confianza a todas las partes interesadas de que un producto, proceso, servicio u organización está certificado y cumple los requisitos de la inspección o el estándar de certificación en cuestión. Cuenta con diferentes almacenes ubicados a lo largo de la ciudad de Veracruz, Veracruz, en los cuales guarda los diferentes productos que debe de certificar para posteriormente embarcarlos en buques de los diferentes clientes.

### CONCEPTUALIZACIÓN

Debido a la complejidad de los procesos logísticos que se presentan a lo largo de una cadena de suministro, el presente trabajo muestra solamente el proceso de salida de sacos de azúcar, uno de los productos que se encarga de certificar la empresa, de los cuatro almacenes de Logistics. Tomando en cuenta esto, el sistema real se comporta como el diagrama conceptual mostrado en la Figura 2.

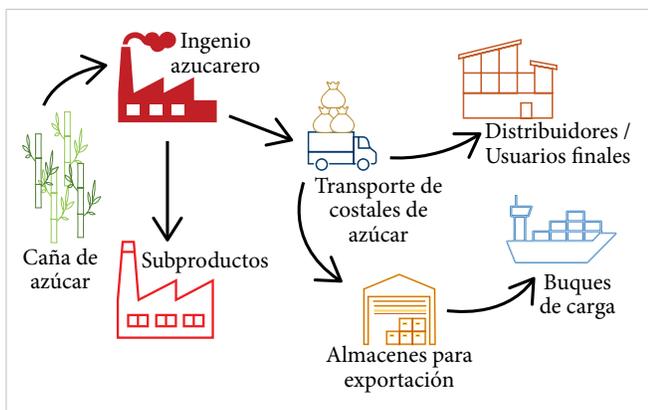


Figura 2. Modelo conceptual del comportamiento del sistema.

El diagrama comienza con la cosecha de la caña de azúcar que se presenta solamente en seis meses del año. Luego, este producto es llevado a los ingenios azucareros donde el principal producto a obtener es el azúcar, que se puede envasar en diferentes presentaciones, una de ellas en sacos de 30 kg. De igual forma, se obtienen diferentes subproductos que pueden ser utilizados en otras empresas, como la melaza, que se utiliza para la destilación de alcohol. Los sacos de azúcar pueden trasladarse a dos partes: 1) a distribuidores o tiendas de conveniencia que llevarán el producto a usuarios finales y 2) o a los almacenes para su posterior exportación, la cual depende de la disponibilidad de los buques de carga de los diferentes distribuidores.

La empresa Logistics es la que se encarga de almacenar, verificar y mandar los costales de azúcar a los distintos buques de carga y para esto se genera un contrato en el cual se pacta el tiempo de entrega de la carga solicitada (usualmente expresado en horas). En este proceso, durante los últimos meses no se ha cumplido con la meta establecida de satisfacción debido a que las entregas pactadas se han retrasado por horas e incluso días.

Debido a lo anterior, y tomando en cuenta el modelo conceptual de la Figura 2, es necesario mencionar que actualmente el sistema de gestión de entradas y salidas de los almacenes está basado en la experiencia de los administradores, por lo cual, con la presente investigación se busca apoyar a este sistema mediante un modelo de simulación que permita evaluar los tiempos reales de operación de los trabajadores, así como de carga y descarga de producto, con el fin de pactar entregas más realistas que eleven la satisfacción de la demanda, tal como se muestra en el diagrama a bloques de la Figura 3.

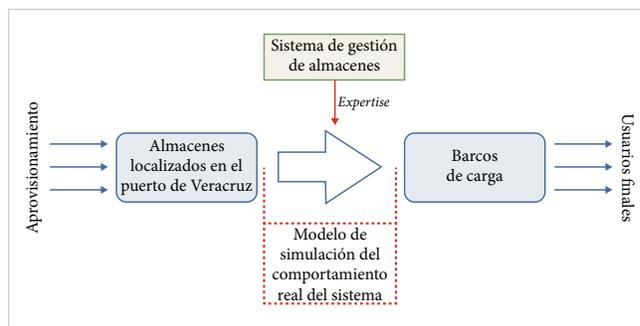


Figura 3. Diagrama a bloques de la propuesta de mejora.

### FORMULACIÓN

Los cuatro almacenes que se tomaron en cuenta en el presente artículo se nombrarán A, B, C y D debido a cuestiones de confidencialidad y se encuentran situados en Veracruz, Veracruz. Los almacenes A y B están ubicados dentro de la aduana, con una capacidad de 8000 y 6000 toneladas, respectivamente, y los almacenes C y D a las afueras de la ciudad, con una capacidad de 10 000 toneladas ambos. El azúcar que se encuentra en los almacenes es llevado a través de cargas hacia los buques, siguiendo un comportamiento establecido mediante distribuciones empíricas que se derivan del análisis estadístico realizado a los datos históricos reales obtenidos a lo largo de tres meses.

En las Ecuaciones 1, 2, 3 y 4 se muestran las distribuciones empíricas basadas en la probabilidad de ocurrencia, donde si se tiene un valor aleatorio entre dos valores (de 0 a 1) que representa la probabilidad, entonces, el simulador generará un dato aleatorio del intervalo indicado, por ejemplo, si la probabilidad se encuentra entre 0 y 0.02, entonces el número generado puede estar entre 0 y 6100 kilogramos de carga.

De la suma de las cargas de cada almacén (A, B, C y D) se obtienen las cargas que se realizan por cada momento a los buques Ecuación 5. Por lo general, se tienen entre 2 o 3 cargas cada hora.

$$CargaA_i = \begin{cases} \text{Si } 0 > pro \geq 0.02 \text{ entonces } (0 - 6100]; & (1) \\ \text{Si } 0.02 > pro \geq 0.03 \text{ entonces } (6100 - 12200]; \\ \text{Si } 0.03 > pro \geq 0.06 \text{ entonces } (12200 - 18300]; \\ \text{Si } 0.06 > pro \geq 0.16 \text{ entonces } (18300 - 24400]; \\ \text{Si } 0.16 > pro \geq 0.33 \text{ entonces } (24400 - 30500]; \\ \text{Si } 0.33 > pro \geq 0.38 \text{ entonces } (30500 - 36600]; \\ \text{Si } 0.38 > pro \geq 0.77 \text{ entonces } (36600 - 42700]; \\ \text{Si } 0.77 > pro \geq 0.99 \text{ entonces } (42700 - 48800]; \\ \text{sino entonces } (48800 - 54900]; \end{cases}$$

$$CargaB_t = \begin{cases} \text{Si } 0 > pro \geq 0.02 \text{ entonces } (0 - 16520]; & (2) \\ \text{Si } 0.02 > pro \geq 0.11 \text{ entonces } (16520 - 33040]; \\ \text{sino entonces } (33040 - 49560]; \end{cases}$$

$$CargaC_t = \begin{cases} \text{Si } 0 > pro \geq 0.011 \text{ entonces } (2600 - 7902]; & (3) \\ \text{Si } 0.011 > pro \geq 0.015 \text{ entonces } (7902 - 13204]; \\ \text{Si } 0.015 > pro \geq 0.021 \text{ entonces } (13204 - 18506]; \\ \text{Si } 0.021 > pro \geq 0.028 \text{ entonces } (18506 - 23808]; \\ \text{Si } 0.028 > pro \geq 0.035 \text{ entonces } (23808 - 29110]; \\ \text{Si } 0.035 > pro \geq 0.041 \text{ entonces } (29110 - 34412]; \\ \text{Si } 0.041 > pro \geq 0.083 \text{ entonces } (34412 - 39714]; \\ \text{Si } 0.083 > pro \geq 0.476 \text{ entonces } (39714 - 45016]; \\ \text{Si } 0.476 > pro \geq 0.882 \text{ entonces } (45016 - 50318]; \\ \text{sino entonces } (50318 - 55620]; \end{cases}$$

$$CargaD_t = \begin{cases} \text{Si } 0 > pro \geq 0.005 \text{ entonces } (450 - 6103]; & (4) \\ \text{Si } 0.005 > pro \geq 0.007 \text{ entonces } (6103 - 11756]; \\ \text{Si } 0.007 > pro \geq 0.018 \text{ entonces } (11756 - 17409]; \\ \text{Si } 0.018 > pro \geq 0.025 \text{ entonces } (17409 - 23062]; \\ \text{Si } 0.025 > pro \geq 0.031 \text{ entonces } (23062 - 28715]; \\ \text{Si } 0.031 > pro \geq 0.041 \text{ entonces } (28715 - 34368]; \\ \text{Si } 0.041 > pro \geq 0.103 \text{ entonces } (34368 - 40021]; \\ \text{Si } 0.103 > pro \geq 0.452 \text{ entonces } (40021 - 45674]; \\ \text{Si } 0.452 > pro \geq 0.865 \text{ entonces } (45674 - 51327]; \\ \text{sino entonces } (51327 - 56980]; \end{cases}$$

$$Cargas_t = CargaA_t + CargaB_t + CargaC_t + CargaD_t \quad (5)$$

Las Ecuaciones (6), (7), (8) y (9) presentan el comportamiento de los almacenes de la empresa Logistics, donde el nivel depende del valor inicial en toneladas del almacén menos la carga correspondiente al momento indicado.

$$A_t = A|_{t=0} - \int_1^n CargaAdt \quad (6)$$

$$B_t = B|_{t=0} - \int_1^n CargaBdt \quad (7)$$

$$C_t = C|_{t=0} - \int_1^n CargaCdt \quad (8)$$

$$D_t = D|_{t=0} - \int_1^n CargaDdt \quad (9)$$

El comportamiento del almacén del barco está representado en la Ecuación 10, donde el nivel del almacén depende del valor inicial y de la suma de las cargas derivadas de cada uno de los almacenes.

$$Barco_t = Barco|_{t=0} + \int_1^n Cargas dt \quad (10)$$

Por otra parte, el sistema fue evaluado mediante el indicador de desempeño mostrado en la Ecuación 11, donde la satisfacción del cliente (SC) depende de la canti-

dad de producto almacenado en el barco con respecto al producto demandando al momento de cumplirse las horas prometidas.

$$SC = \frac{\text{Producto demandado}}{\text{Producto almacenado en barco}} * 100 \quad (11)$$

Una vez realizadas las ecuaciones correspondientes al comportamiento del sistema, fue necesario identificar los parámetros iniciales con los cuales se programó el modelo de simulación. Estos parámetros se muestran en la [Tabla 1](#), así como su explicación.

TABLA 1  
PARÁMETROS INICIALES

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Valor inicial A	8000 ton	Es el valor inicial de la cantidad de azúcar en kilogramos existente en cada uno de los almacenes
Valor inicial B	6000 ton	
Valor inicial C	10 000 ton	
Valor inicial D	10 000 ton	
Valor inicial almacén barco	0	Azúcar dentro del almacén para satisfacer la demanda de producto requerida por el cliente
Kilogramos por carga conjunta	150 000 kg	Cantidad de kilogramos ingresada al almacén del barco cada hora. Suma de las cargas ingresadas de los 4 almacenes.

Una vez que fueron identificados los modelos matemáticos y los parámetros iniciales que representan al sistema real, se validó el modelo de simulación para analizar si este se comporta como lo esperado.

### VALIDACIÓN

Forrester y Senge <sup>[28]</sup> proponen 17 pruebas, entre las que se puede elegir varias para validar los modelos de simulación desarrollados bajo la dinámica de sistemas. Para el caso del presente artículo, se escogieron las siguientes: la prueba de consistencia dimensional y la prueba de condiciones extremas. Ambas fueron seleccionadas porque son consideradas las pruebas base de la DS, ya que analizan estructuralmente el modelo e indican si se comporta de forma plausible y genera modos de comportamiento conformes al sistema real <sup>[29]. [30]</sup>.

**Consistencia dimensional.** Como se mencionó anteriormente, esta prueba se utiliza para analizar que las ecuaciones o parámetros estén conectados correctamente. En este caso, el modelo utiliza solamente dos

EVALUACIÓN

diferentes unidades: tonelada y kilogramo. La tonelada, unidad principal en los elementos de carga, es cambiada en algunos parámetros del modelo de simulación a kilogramo, tomando en cuenta la conversión de que 1 tonelada es igual a 1000 kilogramos.

**Condiciones extremas.** El modelo de simulación del presente trabajo cuenta con restricciones que caracterizan el proceso de carga y descarga de la materia prima, por lo cual se validaron cuatro escenarios, variando el tiempo que se tarda en realizarse la carga. Estos se nombrarán de manera cualitativa para su mejor entendimiento: 1) tiempo de carga muy lento; 2) tiempo de carga lento; 3) tiempo de carga real; y 4) tiempo de carga rápido.

Con lo anterior, se corrió el modelo de simulación y se validó si de forma estructural se comporta como lo esperado, es decir, que mientras más lento sea el tiempo de carga, la satisfacción del cliente decae. La Figura 4 muestra el resultado de esta simulación, donde se puede observar que para el escenario de tiempo de carga muy lento, la satisfacción de la demanda queda en 63 %, caso contrario cuando el tiempo de carga es rápido, donde la satisfacción es de 99 %, por lo tanto, el modelo se comporta como lo esperado de manera estructural.

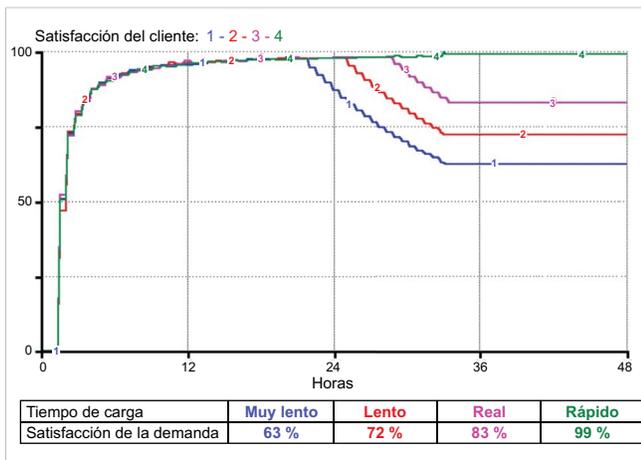


Figura 4. Comportamiento en condiciones extremas.

Con las pruebas descritas anteriormente, se puede concluir que el modelo de simulación es representativo de la realidad, además de ser adecuado de forma estructural en cuanto a las dimensiones y comportamiento. Debido a esto, se pueden empezar a realizar escenarios de simulación con el fin de evaluar el sistema actual y futuras modificaciones en el mismo.

Para poder realizar la evaluación de diferentes escenarios que permitan mejorar la satisfacción del cliente, es necesario mencionar que la empresa Logistics acuerda con sus clientes el tiempo de entrega, basado en el valor ideal de que se pueden juntar las cargas de los almacenes A, B, C y D, ingresando un total de 150 000 kg al almacén del barco cada hora.

Con base en lo anterior, el primer escenario generado es la representación del sistema real con una demanda hipotética de 25 000 toneladas y los tiempos de carga y descarga reales. En la Figura 5 se observa el comportamiento del almacén del barco (línea azul), el cual llega a las 25 000 toneladas, sin embargo, este nivel se alcanza hasta las 51 horas transcurridas, por lo que se analiza la cantidad de producto almacenado cuando se alcanzan las 42 horas acordadas, representado por la línea comparativa (línea roja), indicando que se ingresaron 20 966 toneladas al almacén del barco al momento del cumplimiento del plazo pactado.

Debido a esto, se muestra de igual forma el nivel de satisfacción de la demanda (línea verde). Este indicador es elevado en las primeras horas, sin embargo, cuando se alcanza el plazo y no se ha terminado la carga de producto, entonces la satisfacción empieza a decaer de manera gradual llegando al 83.79 %. Cabe mencionar que dicho valor no es aceptado por la empresa, ya que como política interna se establece tener una satisfacción de la demanda de por lo menos el 85 %, el 80 % de las veces.

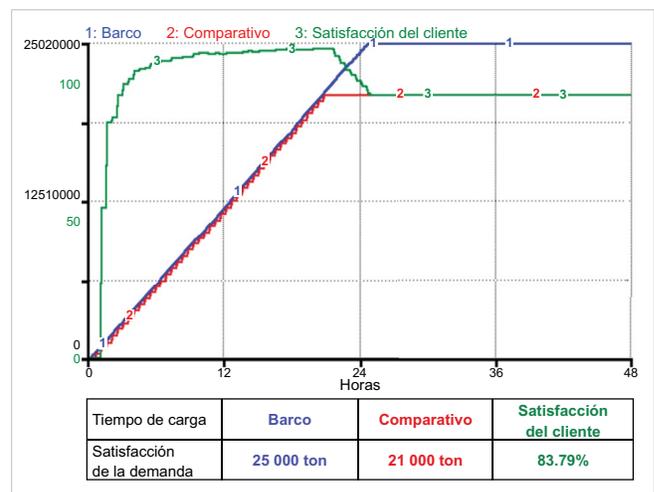


Figura 5. Comportamiento de parámetros actuales.

Por esto, es importante evaluar la cantidad de veces que se cumple con la política interna utilizando los valores reales del sistema, es decir, cantidad de carga y descarga por almacén y el tiempo de carga de cada barco. Sin embargo, experimentar con el sistema real sería demasiado tardado y costoso, por lo cual se utiliza el modelo de simulación que, como se dijo anteriormente, es representativo del sistema y se corre 100 veces para el mismo valor de 25 000 toneladas de demanda, y a partir de esto, concluir el porcentaje promedio de cada año para el indicador de satisfacción de la demanda. Dicha información se muestra en la **Tabla 2**, y en la **Figura 6**, de acuerdo con el comportamiento de estos datos se puede observar que son muy pocas las veces que el valor mínimo aceptable de 85 % es alcanzado o rebasado.

Con el previo análisis, la empresa Logistics decidió implementar el modelo de simulación para pactar la siguiente entrega con su cliente, además de realizar de nueva cuenta el análisis de 100 corridas.

En el caso de la aplicación del modelo, se evaluó el siguiente cargamento que corresponde a una demanda de 30 000 toneladas y los resultados de la simulación indican que el tiempo total será de 65 horas, por lo tanto, decidió pactar este tiempo con el cliente. La **Figura 7** muestra el resultado de haber pactado con el cliente el tiempo correspondiente al sistema real, siendo de 99.13 % (línea rosa) la satisfacción de la demanda, ya que la cantidad total de producto solicitado (35 000 toneladas en línea azul) se cubrió en 66 horas, por esto el Comparativo (línea roja) se ve cercano al valor real del Barco.

TABLA 2  
SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN 100 CORRIDAS DE SIMULACIÓN

SATISFACCIÓN DEL CLIENTE ( % )									
84.15	82.7	83.59	84.01	85.28	82.26	83.07	83.07	84.27	84.31
84.16	83.6	84.28	83.99	83.63	84.14	84.31	84.67	83.91	84.73
83.90	84.9	82.37	85.41	84.1	84.11	84.2	83.17	83.9	84.36
83.17	83.46	83.67	83.62	82.78	83.22	84.81	83.45	83.34	84.46
85.00	84.22	83.52	82.28	82.69	83.46	84.51	82.72	84.04	83.77
82.14	82.94	83.22	83.79	84.24	84.25	84.5	82.64	84.48	84.02
83.46	84.6	83.35	85.08	83.26	82.77	86.22	83.58	84.84	84.13
83.73	82.81	83.35	85.1	83.89	83.5	84.34	84.48	83.31	81.52
83.71	84.18	84.19	82.82	83.07	85.14	83.76	85.27	83.37	82.92
84.25	84.25	83.68	83.49	82.63	84.11	84.41	83.13	84.77	83.68

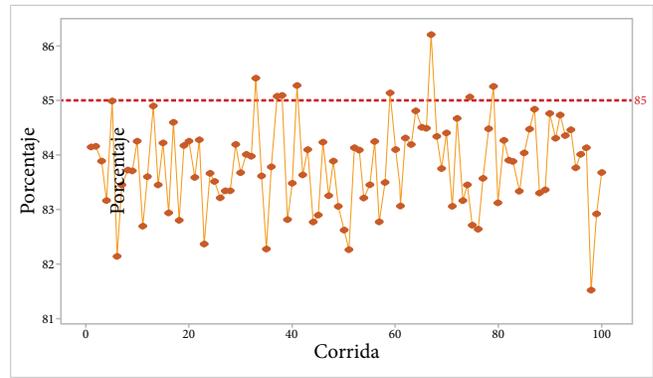


Figura 6. Corridas de simulación que cumplen con la política de 85 %.

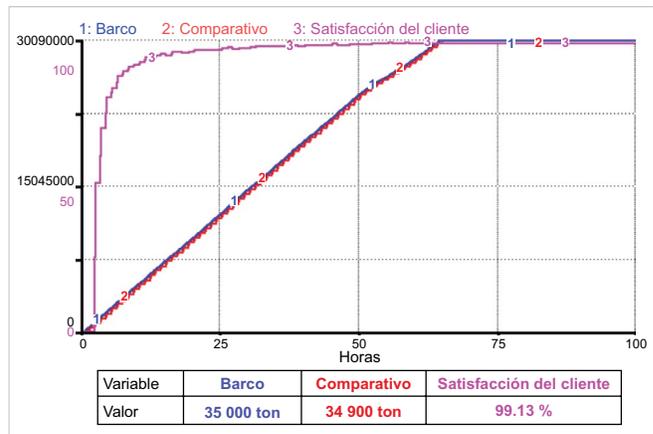


Figura 7. Comportamiento tiempo pactado basado en el modelo de simulación.

Por otra parte, el resultado de haber analizado 100 veces el mismo valor de 30 000 toneladas, de acuerdo con las horas que define el modelo de simulación, es una satisfacción del cliente por encima del 95 %, el 100 % de las veces.

Es importante mencionar que pactar las horas reales de entrega con el cliente son solo el primer paso para poder mejorar la satisfacción de la demanda, dado que el alcance del indicador de este trabajo de investigación solo evalúa la satisfacción con respecto a la fecha de entrega, tomando como supuesto que el cliente aceptará sin réplica la fecha que se le indique.

Sin embargo, no hay que dejar de lado que el comportamiento de los procesos de carga y descarga deben ser mejorados con el fin de disminuir tiempos de ocio, tanto de maquinaria como de trabajadores; disminuir la variabilidad de las cargas, ya sea por error humano o error de medición, y aumentar su eficiencia.

## IV. CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología de dinámica de sistemas se creó el modelo de simulación que representa los tiempos de operación reales de la empresa Logistics. Con esto se pudo visualizar la cantidad de horas que tarda la carga de los costales de azúcar a los barcos de los clientes con el fin de acordar el tiempo necesario. Al ser aplicado este modelo en una de las transacciones de la empresa, se pudo pactar con el cliente un valor de tiempo más cercano a la realidad, lo que permitió aumentar en aproximadamente 20 % la satisfacción del cliente.

Cabe mencionar que esta solución es temporal, ya que de manera ideal deben realizarse cambios en el proceso para lograr que se eviten tiempos de ocio no programados y se puedan disminuir los tiempos de entrega, así como multas que puedan ocasionarse por entrega tardía a las embarcaciones.

Como trabajo futuro se propone agregar al simulador las entradas de la materia prima, así como involucrar a todos los almacenes con los que cuenta la empresa.

## REFERENCIAS

- [1] M. A. México, “Reporte de la Industria del Azúcar”, M&A México, México, jun. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2017/01/Reporte-MA-Industria-Azúcar.pdf>
- [2] M. A. Rendon-Sagardi, C. Sanchez-Ramirez, G. Cortes-Robles, G. Alor-Hernandez y M. G. Cedillo-Campos, “Dynamic analysis of feasibility in ethanol supply chain for biofuel production in Mexico”, *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 358-367, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.01.023.
- [3] SAGARPA, “Planeación agrícola nacional 2017-2030”, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>
- [4] A. A. Correa-Espinal, R. A. Gómez-Montoya y J. A. Cano-Arenas, “Gestión de Almacenes y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)”, *Estudios Gerenciales*, vol. 26, no. 117, pp. 145-171, 2010, doi: 10.1016/S0123-5923(10)70139-X.
- [5] “La Logística Integral como fundamento de la SCM”, en *Las claves de la Supply Chain*, vol. 1. Zaragoza, España: A. Empresa Ed. , 2002, pp. 7-41.
- [6] K. Becerra-González, V. Pedroza-Barreto, J. Pinilla-Wah y M. Vargas-Lombardo, “Implementación de las TIC en la gestión de inventario dentro de la cadena de suministro”, *RIC*, vol. 3, no. 1, pp. 36-49, 2017.
- [7] L. Lapide, “MIT’s SC2020 project : the essence of excellence”, *Supply Chain Manag. Rev.*, vol. 10, abr. 2006.
- [8] P. Kotler y K. L. Keller, *Dirección de marketing*, 14.ª ed. México: Pearson Educación, 2012.
- [9] P. Cano Olivos, F. Orue Carrasco, J. L. Martínez Flores, Y. Mayett Moreno y G. López Nava, “Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México”, *Contaduría y administración*, vol. 60, 1, pp. 181-203, 2015.
- [10] A. Contreras, C. Atziry, J. L. Martínez y D. Sánchez, “Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos”, *Estudios Gerenciales*, vol. 32, no. 141, pp. 387-396, 2016, doi: 10.1016/j.estger.2016.11.002.
- [11] A. Chikán, “The new role of inventories in business: Real world changes and research consequences”, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 108, no. 1, pp. 54-62, 2007, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.12.002.
- [12] A. Correa, C. E. Álvarez y R. A. Gómez, “Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro”, *Estudios Gerenciales*, vol. 26, no. 116, pp. 115-141, 2010, doi: 10.1016/S0123-5923(10)70126-1.
- [13] D. Bello, F. Murrieta y C. A. Cortes, “Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de energías limpias”, *Ciencia Administrativa*, no. 1, 2020.
- [14] Coupa, *Smarter Supply Chain* L. Soft, ed., 2021.
- [15] J. M. García, *Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas*. Independently Published, 2018.
- [16] J. M. García, *50 modelos de Dinámica de Sistemas: Creación de modelos de simulación con Dinámica de*

- Sistemas, System Thinking y Diagrama Causal*. Juan Martín García, 2018.
- [17] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*. Cambridge: M.I.T. Press, 1961.
- [18] N. Giedelmann-L, W. J. Guerrero y E. L. Solano-Charris, “System dynamics approach for food inventory policy assessment in a humanitarian supply chain”, *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 81, p. 103286, 2022, doi: [10.1016/j.ijdr.2022.103286](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103286).
- [19] H. Jahani, H. Gholizadeh, Z. Hayati y H. Fazlollahtabar, “Investment risk assessment of the biomass-to-energy supply chain using system dynamics”, *Renew. Energ.*, vol. 203, pp. 554-567, 2023, doi: [10.1016/j.renene.2022.12.038](https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.038).
- [20] S. Ding, H. Ward, S. Cucurachi y A. Tukker, “Revealing the hidden potentials of Internet of Things (IoT) - An integrated approach using agent-based modelling and system dynamics to assess sustainable supply chain performance”, *J. Clean. Prod.*, p. 138558, 2023, doi: [10.1016/j.jclepro.2023.138558](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138558).
- [21] R. A. Gómez y A. A. Correa, “Tecnologías de la información y comunicación (TICs) en los procesos de recepción y despacho”, *Avances en Sistemas e Informática*, vol. 8, no. 2, pp. 127-133, 2011.
- [22] R. Takano, T. Higashi, H. Tamura, M. Sugi y J. Ota, “Mixed-Load Transportation Scheduling of Multiple Agents in a Warehouse Environment”, *Adv Robot*, vol. 25, no. 11-12, pp. 1557-1576, 2011, doi: [10.1163/016918611X579538](https://doi.org/10.1163/016918611X579538).
- [23] A. Merino, L. F. Acebes, R. Mazaeda y C. de Prada, “Modelado y Simulación del Proceso de Producción del Azúcar”, *RIAI*, vol. 6, no. 3, pp. 21-31, 2009, doi: [10.1016/S1697-7912\(09\)70261-4](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70261-4).
- [24] J. D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World with CD-ROM*. McGraw-Hill Education, 2000.
- [25] D. R. Mota-López, C. Sánchez-Ramírez, G. Alor-Hernández, J. L. García-Alcaraz y S. I. Rodríguez-Pérez, “Evaluation of the impact of water supply disruptions in bioethanol production”, *Comput Ind Eng*, vol. 127, pp. 1068-1088, 2019, doi: [10.1016/j.cie.2018.11.041](https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.041).
- [26] H. U. Fuchs, “System Dynamics Modeling in Science and Engineering”. [En línea]. Dic. 8-16, 2006. Disponible en: [http://www.hansfuchs.org/MATERIALS/PR\\_SDMSE\\_Slides.pdf](http://www.hansfuchs.org/MATERIALS/PR_SDMSE_Slides.pdf)
- [27] M. G. Cedillo y C. Sánchez, *Análisis Dinámico de Sistemas Industriales*. México: Trillas, 2008.
- [28] J. Forrester y P. Senge, *Test for Building Confidence in System Dynamics Models*, vol. 14. Cambridge: System Dynamics Group, 1980.
- [29] R. Ramos-Hernández, C. Sánchez-Ramírez, F. Sandoval-Salas, D. F. Manotas-Duque, L. Rivera-Cadavid y S. I. Pérez-Rodríguez, “Systemic Approach for the Design of Renewable Energy Supply Chain Generated from Biomass”, en *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Global Supply Chain Ecosystems*, J. L. García-Alcaraz, C. Sánchez-Ramírez, L. Avelar-Sosa y G. Alor-Hernández, eds. Springer, Cham, 2020, pp. 259-283, doi: [10.1007/978-3-030-26488-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26488-8_12).
- [30] R. Ramos-Hernández, C. Sánchez-Ramírez, D. R. Mota-López, F. Sandoval-Salas y J. L. García-Alcaraz, “Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp through System Dynamics”, *Renew. Energ.*, vol. 165, pp. 863-877, 2021, doi: [10.1016/j.renene.2020.11.040](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.040).