



ASOCIACIÓN MEXICANA DE LOGÍSTICA  
Y CADENA DE SUMINISTRO A.C

# ANÁLISIS LOGÍSTICO: UN ENFOQUE INTEGRAL

EDITORES

Miguel Gastón **Cedillo Campos**  
Ernesto Alonso **Lagarda Leyva**

**ITSON**  
UNIVERSIDAD



**MéxicoLogístico**<sup>®</sup>

Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro, A.C.

Asociación Mexicana de Logística y  
Cadena de Suministro A.C

<http://aml.org.mx/>

Instituto Tecnológico de Sonora  
Calle 5 de febrero #818 sur, Colonia centro; C.P. 85000  
Ciudad Obregón Sonora

[www.itson.edu.mx](http://www.itson.edu.mx)

**[EDITORES]**

Miguel Gastón **Cedillo Campos**  
Ernesto Alonso **Lagarda Leyva**

**[DISEÑO EDITORIAL]**

Ana Karen **Bustamante Cano**

**[GESTIÓN EDITORIAL]**

Oficina de Publicaciones ITSON  
Marisol **Cota Reyes**

ISBN electrónico: **978-607-609-220-0**

PRIMERA EDICIÓN, Septiembre 2021  
Hecho en México

## [ COMITÉ TÉCNICO REVISOR ]

Miguel Gastón **CEDILLO CAMPOS**  
Presidente del Comité Científico

Maria Paz **ACOSTA QUINTANA**  
Instituto Tecnológico de Sonora

Alberto Alfonso **AGUILAR LASSERRE**  
Instituto Tecnológico de Orizaba

Ricardo **ARREDONDO**  
Instituto Mexicano del Transporte

Pilar **ARROYO**  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores  
de Monterrey

Roberto **BAEZA**  
Universidad de Guanajuato

Lorena **BEARZOTTI**  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Alfredo **BUENO SOLANO**  
Instituto Tecnológico de Sonora

Agustín **BUSTOS**  
Instituto Mexicano del Transporte

Roberto **BAEZA**  
Universidad de Guanajuato

Gabriela **CRUZ**  
Instituto Mexicano del Transporte

José Fernando **CAMACHO VALLEJO**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Leopoldo **CÁRDENAS**  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores  
de Monterrey

Salvatore **CANNELLA**  
Università degli Studi di Catania

Elizabeth **DE LA TORRE**  
Instituto Mexicano del Transporte

Héctor **FIGUEROA**  
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

Mayra **ELIZONDO**  
Universidad Nacional Autónoma de México

Rosa Guadalupe **GONZÁLEZ RAMÍREZ**  
Universidad de Los Andes

David Salvador **GONZÁLEZ  
COMIMSA – CONACYT**

Alejandra **GÓMEZ PADILLA**  
Universidad de Guadalajara

Gabriela **GARCÍA**  
Instituto Mexicano del Transporte

Arturo **HERNÁNDEZ AGUIRRE**  
Centro de Investigación en Matemáticas

José Elías **JIMÉNEZ SÁNCHEZ**  
Instituto Mexicano del Transporte

José Alfredo **JIMÉNEZ GARCÍA**  
Instituto Tecnológico de Celaya

Ernesto **LAGARDA LEYVA**  
Instituto Tecnológico de Sonora

Ernesto **LIÑAN**  
Universidad Autónoma de Coahuila

María Pilar **LAMBÁN**  
Universidad de Zaragoza

Giovanni **LIZARRAGA**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Mónica **LÓPEZ CAMPOS**  
Universidad Técnica Federico Santa María

Igor **LITVINCHEV**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Eric **MORENO QUINTERO**  
Instituto Mexicano del Transporte

Luis Antonio **MONCAYO MARTINEZ**  
Instituto Tecnológico Autónomo de México

## [ COMITÉ TÉCNICO REVISOR ]

César Jaime **MONTIEL MOCTEZUMA**  
Instituto Mexicano del Transporte

Miguel **MATA**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Miguel Antonio **MUJICA**  
Amsterdam University of Applied Sciences

Jaime **MORA VARGAS**  
Tecnológico de Monterrey

Abraham **MENDOZA**  
Universidad Panamericana

Juan José **MÉNDEZ PALACIOS**  
Instituto Tecnológico Nacional de México, Querétaro

Carlos Alberto **OCHOA ZEZATTI**  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Edith Lucero **OZUNA ESPINOSA**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Carlos **PÉREZ GONZÁLEZ**  
Instituto Mexicano del Transporte

Gabriel **PÉREZ SALAS**  
CEPAL - Naciones Unidas

María Del Rosario **PÉREZ SALAZAR**  
Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

Jared **PIÑA**  
Instituto Mexicano del Transporte

Adrian **RAMIREZ NAFARRATE**  
Universidad Panamericana

Angel **RUIZ**  
Universidad de Laval

Jorge Alberto **RUIZ VANOYE**  
Universidad Autónoma del Carmen

Jania **SAUCEDO**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Jons **SÁNCHEZ**  
Universidad Autónoma de Querétaro

Benito **SÁNCHEZ LARA**  
Universidad Nacional Autónoma de México

Tomas Eloy **SALAS FIERRO**  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Neale **SMITH**  
Tecnológico de Monterrey

Raúl **SOTO PEREDO**  
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Ricardo **TORRES**  
Universidad Nacional Autónoma de México

Leopoldo **TAPIA**  
Instituto Tecnológico Nacional de México, León II

Manuel **VELARDE**  
Instituto Tecnológico de Sonora

Juan **VILLA**  
Texas A&M University

Javier **VALENCIA**  
Universidad Autónoma de Yucatán

Bernardo **VILLARREAL**  
Universidad de Monterrey

Jonás **VELASCO**  
Centro de Investigación en Matemáticas

Catya **ZUÑIGA**  
Amsterdam University of Applied Sciences

# [ CONTENIDO ]

## UNO

---

**Modelo dinámico para el control y manejo de factores de riesgo en la cadena de suministro del tomate** 7

Alfredo Bueno Solano  
Ernesto Alonso Vega Telles  
Mireya Rodríguez-Meraz

## DOS

---

**Herramientas leanlogistics en la distribución de Gas LP** 18

Maria Paz Gpe Acosta Quintana  
Jesús Roberto Camacho Mares  
Arnulfo Aurelio Naranjo Flores  
Alfredo Bueno Solano

## TRES

---

**Sustentabilidad en la gestión de la cadena de suministro** 27

Laura Beatríz Bernal Barbosa  
Alejandro Arellano González  
Blanca Carballo Mendívil

## CUATRO

---

**Layout optimization with material tour in open field** 35

Victor Manuel Váldez Flores  
Ricardo Martínez López  
Pedro Henoc Ireta Sánchez  
Alan Tijerina de la Rosa

## CINCO

---

**Calidad seis sigma en los procesos productivos de las empresas del sur de Sinaloa, como estrategia competitiva en la creación de valor** 46

María Guadalupe Velarde Rodríguez  
Olga Karely Lizárraga Tisnado

## SEIS

---

**Competitiveness model based on Pythagorean Fuzzy Topsis approach to establish the labor indicator in a future scenario of the Industry 4.0** 60

María Inés Borunda Aguilar  
Iván Juan Carlos Pérez Olguín  
Erwin Adán Martínez Gómez  
Carlos Alberto Ochoa Zezatti

# [ CONTENIDO ]

## SIETE

---

**La planificación integral del acceso rural. Aplicación y resultados en cuatro microregiones rurales de bajos ingresos** 72

José Alfonso Balbuena Cruz  
Alma Rosa Zamora Domínguez  
Agustín Bustos Rosales  
José Alejandro Ascencio Laguna

## OCHO

---

**Aplicación de heurístico para la asignación de rutas de distribución de mercancía: caso de estudio** 82

Martha Felicitas Quiroz Flores  
Lourdes Loza Hernández

## NUEVE

---

**Aplicación del algoritmo Clarke & Wright bajo dos enfoques para minimizar recursos** 91

Josué Rojas Rodríguez  
Lourdes Loza Hernández

## DIEZ

---

**Desarrollo de un sistema de gestión de inventarios en la cadena de suministro de una empresa agropecuaria** 101

Javier Portugal Vásquez  
Ernesto Alonso Lagarda Leyva  
Josue Roberto Santana Sapien  
Alfredo Bueno Solano

## ONCE

---

**Dinámica de sistemas: solución tecnológica para la cadena de suministro del cerdo en una empresa del sur de Sonora** 116

Ana Karina Arana Pedraza  
Karla Lilian Cárdenas Aguilar  
Patricia Jacquelin Gutiérrez Delgado  
Arturo Leonel Lagarda Lujan  
Angélica Abigaíl Pérez Delgadillo  
César Guillermo Robles Armenta  
Francisco Xavier Salido Saucedo  
Sergio Israel Verdugo Covarrubias

# Modelo dinámico para el control y manejo de factores de riesgo en la cadena de suministro del tomate

Alfredo Bueno-Solano  
Depto. Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Cd. Obregón Sonora, México  
abuenosolano@itson.edu.mx

Ernesto Alonso Vega Telles  
Depto. Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Cd. Obregón Sonora, México

Mireya Rodríguez-Meraz  
Depto. Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora

---

**Resumen**— Las cadenas de suministro agroindustriales, han sido, son y serán uno de los motores del desarrollo de la humanidad. Debido al crecimiento poblacional y a los efectos de la globalización, los niveles de competencia en los mercados se han incrementado, en consecuencia, la administración de la cadena de suministro se ha tornado cada vez más compleja haciéndolas susceptibles al riesgo. Las empresas agroalimentarias no son la excepción y enfrentan grandes retos y desafíos que demandan la participación de la comunidad científica para ofrecer soluciones que contribuyan a su robustez de sus cadenas. Siendo México uno de los líderes en la exportación de productos agroalimentarios, las empresas del sector deben identificar los riesgos críticos que pueden causar interrupciones en el flujo de la cadena de suministro originando retrasos y mermas en los productos. Para atender esta demanda de soluciones en el sector agroalimentario, la presente investigación propone con el apoyo de la dinámica de sistemas, desarrollar un modelo de simulación, capaz de analizar distintos escenarios en la cadena de suministro del tomate en la región sur de Sonora, como una estrategia proactiva para identificar el comportamiento de la cadena bajo eventos disruptivos. La información recabada con la investigación será puesta a disposición de los tomadores de decisión para que puedan construir de manera proactiva estrategias que permitan construir sistemas de suministro más resilientes en el sector agroindustrial y con ello se eficiente el proceso de toma de decisiones basado en datos cuantitativos de tal forma que permita anticiparse ante cualquier situación no deseada.

**Palabras Clave:** cadena de suministro agroindustrial, dinámica de sistemas, índice de fluidez

## I. INTRODUCCIÓN

La administración del riesgo es una práctica cada vez más común en las cadenas de suministro. Diversos factores como la globalización, los avances tecnológicos y la alta demanda de productos y servicios con márgenes de entrega cada vez más cortos, han incrementado las ventanas de materialización del riesgo en las organizaciones. En este escenario, se considera necesario que todas las cadenas desarrollen estrategias para la mitigación de riesgos, ya que, por el contrario, el no tomar en cuenta todos los posibles escenarios puede llevar a resultados catastróficos. Estos riesgos incluyen la interrupción del flujo, demoras en el suministro, fluctuaciones de la demanda, precios y tipo de cambio. [1]

Distintos enfoques orientados en la prevención o reducción de eventos disruptivos que afecten el desempeño de la cadena de suministro, [2] concluyeron que el diseño robusto de redes de abastecimiento, el análisis y medición de confiabilidad de las operaciones en la cadena de suministros son las estrategias más comunes para transformar a las cadenas de suministros en resilientes.

En este sentido, todos los modelos son válidos al momento de buscar estrategias para prevenir y mitigar impactos de perturbaciones, pero se deben de tomar en cuenta los factores de cada cadena como su complejidad, capacidad de infraestructura física y logística, condiciones del entorno, entre otras.

En este contexto, se puede aceptar el hecho de que el área aún se encuentra en desarrollo y que, por ello, aún hoy en día existe incertidumbre sobre cómo deben aproximarse los problemas asociados a la materialización de riesgo en cadenas de suministro. Sin embargo, hay una realidad común a todos los actores y que está asociada con el hecho de que ninguna cadena de suministro u organización es inmune al riesgo.

Además, como se demostró por [3], el riesgo tiende a propagarse rápidamente a otros eslabones de la cadena de suministro, lo que acentúa la necesidad de desarrollar estrategias para su mitigación al tiempo

que estas medidas deben garantizar el flujo constante, eficiente y seguro de bienes a través de la cadena de suministro.

Como un esfuerzo por realizar una aportación en este campo de estudio, el presente documento propone la construcción de un modelo dinámico para el control y manejo de factores de riesgo aplicados en la cadena de suministro agroindustrial, específicamente del tomate en la región sur de Sonora. En la segunda sección se presenta la definición del riesgo desde una perspectiva de cadena de suministro al tiempo que se señala la importancia de administrar el riesgo en cadenas agroindustriales. En la tercera sección se aborda el caso de estudio de la cadena de suministro del tomate de la región sur de Sonora y en la cuarta sección se presentan los resultados de medir el impacto de la materialización del riesgo en la cadena de la hortaliza bajo estudio, finalmente en la quinta sección del documento se presentan conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## II. IMPACTO DE LA ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN CADENAS DE SUMINISTRO AGROINDUSTRIALES

Dependiendo de la temática, el riesgo puede tener diferentes definiciones, según [4] el riesgo se conoce como la probabilidad de variación en un resultado esperado. Por otro lado, [2], definen el riesgo como cualquier evento o suceso que implique una amenaza potencial en el desempeño de las operaciones de una organización. Desde una perspectiva del tomador de decisiones, el riesgo es una amenaza de que algo pueda ocurrir, que interrumpa las actividades o evitar que las cosas sucedan según lo planeado. [5]

Buscando un consenso, para el presente trabajo se entiende por riesgo a la oportunidad de que una amenaza se transforme en un percance. Afectando a los agentes que se encuentren en un sector determinado.

En la cadena de suministro los riesgos, se presentan como cualquier evento inesperado que pueda afectar e interrumpir el flujo planeado de materiales, desde los proveedores hasta los clientes finales. [6] lo definen

como variaciones inciertas o interrupciones que afectan los flujos de información, materiales o productos a lo largo de la organización.

Por lo que, en adelante se referirá al riesgo en la cadena de suministro como cualquier variación que obstaculice el flujo previamente planeado por las organizaciones y que afecta de manera directa o indirecta a los distintos agentes de la cadena.

En ese sentido, de acuerdo con [6] se convierte en una prioridad desarrollar medidas que conduzcan al control de los riesgos en la cadena de suministro, implementado todas aquellas acciones estratégicas de la organización, las cuales inciden directamente en la mitigación de incertidumbres identificadas en diversas fuentes de riesgo. Asimismo, [7] exponen que el control consiste en “la identificación y evaluación de riesgos y pérdidas, consecuentes en la cadena de suministro global, e implementación de estrategias adecuadas a través de un enfoque coordinado entre los miembros de la cadena de suministro, con el objetivo de reducir: pérdidas, probabilidad, el tiempo para la detección de eventos y la frecuencia o exposición, para lograr resultados que logren cerrar la correspondencia de los costos de ahorro y la rentabilidad deseada”

El control de riesgos es una tarea compleja que engloba las políticas y procedimientos para manipular situaciones de riesgo de una organización, con el menor tiempo de respuesta posible. Generalmente son sistemas que comprenden un conjunto de componentes y procesos productivos que se interrelacionan para la generación de productos a través de la transformación de materias primas e insumos; por su parte, el sistema natural comprende el conjunto de recursos naturales (tierra, agua, suelo, fauna y flora) explotados por dichos sistemas productivos, para realizar su función de producción. [8]

En los modelos y configuraciones de cadenas de suministro agrícolas, específicamente en productos perecederos, [9] presentó una investigación con diferentes enfoques sobre la modelación y configuración de las cadenas de suministro y sobre su impacto en la planeación del territorio. Dicha exploración señala que la cadena de suministro puede

generar procesos más sostenibles y resultados más eficientes si se le considera como un conjunto de elementos relacionados entre sí, de manera coordinada y ordenada, que gestionan la información en todos los niveles. La conclusión del documento expone la importancia de seguir estudiando el tema de las configuraciones de las cadenas de suministro para mejorar los procesos agrícolas de diversos productores, en distintos lugares y que tengan la necesidad de reducir costos de operación.

Por definición los sistemas agroindustriales comprenden un conjunto de componentes y procesos productivos que se interrelacionan para la generación de productos a través de la transformación de materias primas e insumos; por su parte, el sistema natural comprende el conjunto de recursos naturales (tierra, agua, suelo, fauna y flora) explotados por dichos sistemas productivos para realizar su función de producción. [8]

En 2015, [10], realizaron una revisión de la Integración de la Cadena de Suministro (ICS), enfocándose en el impacto que tienen los mecanismos de integración externa sobre el desempeño de las cadenas de suministro agroindustriales aplicando la dinámica de sistemas. Concluyeron que los mecanismos de integración externa más utilizados han sido el intercambio de información y la toma de decisiones conjunta, mientras que las medidas de desempeño usadas con mayor frecuencia han sido los costos, utilidad, rendimiento de inversión y niveles de inventario. Además, mencionan que “La metodología utilizada, a partir del paradigma de simulación con dinámica de sistemas, permitió establecer el comportamiento futuro de los diferentes agentes y de toda la SC del mango. Todos los mecanismos de integración mejoraron las variables de respuesta en almacén y disminuyeron las pérdidas de producto”.

A continuación, se puede observar algunos de los beneficios que se presentan al aplicar integraciones externas en la cadena de suministro del sector agroindustrial.

**TABLA I. BENEFICIOS PARA LAS ORGANIZACIONES AGROINDUSTRIALES**

Beneficios para la empresa agroindustrial
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mayor regularidad en los suministros de productos agrícolas.</li> <li>● Mayor utilización de la capacidad de procesamiento e infraestructura de distribución.</li> <li>● Mejor coordinación en la entrega de productos</li> <li>● Mayor calidad cuando el agricultor permite un mejor control de los procesos agrícolas</li> <li>● Mayor capacidad para satisfacer las necesidades de los consumidores y las normas de calidad y seguridad obligatorias.</li> <li>● Reducción de los costos por unidad. Las economías de escala se pueden alcanzar por las empresas que adquieren grandes cantidades de insumos agrícolas.</li> <li>● Mayor flexibilidad, especialmente la expansión y contracción de la producción</li> <li>● Aumento del rendimiento de la inversión</li> <li>● Mayor fiabilidad en la entrega.</li> </ul>

Esta lista es además complementada con una serie de beneficios para los productores que tienen como objetivo reducir la incertidumbre asociada a la disponibilidad de insumos, calidad y costos.

En el medio regional, la cadena de suministro del tomate no es ajena a los riesgos que se presentan en las cadenas de suministro ya que también puede verse afectada por distintos factores, desde tráfico que impide que el producto se entregue a tiempo y muchas veces madure y se pierda, hasta robos o fenómenos naturales que interrumpan el flujo, afectando a productores, almacenistas, empacadores, transportistas y clientes.

La administración del riesgo en las cadenas de suministro es un elemento fundamental que permite a los tomadores de decisiones estar preparados al momento de tener que reaccionar de manera eficiente ante eventos disruptivos.

Según [5], la organización podrá identificar un riesgo, considerar la probabilidad de que esto suceda y analizar las consecuencias de que se lleve a cabo. Asimismo, si una empresa logra administrar el riesgo, podrá prevenir una gran cantidad de inconvenientes, teniendo un mejor tiempo de respuesta ante los mismos, ahorrando la pérdida de clientes, utilidades y por ende mejorar su competitividad.

En el sur de Sonora, el tomate que se produce se exporta en un 99% a Estados Unidos [11], siendo un producto perecedero, es necesario entregarlo en el tiempo establecido, pero esto puede verse afectado por riesgos como el tráfico, manifestaciones o bloqueos carreteros. Una buena administración de riesgos es capaz de reaccionar y tomar la decisión más adecuada para prevenir que el tomate madure y se pierda.

El presente proyecto se constituye como una herramienta que capture el estado real y simular distintos escenarios de riesgos, con la intención de medir cómo se propaga el impacto de la disrupción y el efecto que pueden tener en el eslabón de distribución en una cadena de suministro agroindustrial, mediante el uso de la herramienta de dinámica de sistemas.

### III. CASO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El planteamiento del caso de estudio parte de identificar los factores de riesgo presentes en la cadena de suministro del tomate en la región sur de sonora, para ello entenderemos como factor de riesgo a todo aquel elemento o conjunto de elementos que, estando presentes en las condiciones de trabajo, pueden desencadenar una disminución de rendimiento de la cadena de suministro y sus eslabones [12]. Por tanto, los factores de riesgo en las organizaciones son componentes que detonan escenarios no deseados, provocando consecuencias como retrasos, pérdidas, incremento de costos, clientes insatisfechos entre otros.

Como marco referencial, se parte de los hallazgos de [13], quienes estudiaron los mecanismos de integración de las cadenas de suministro frutícolas, utilizando el enfoque de dinámica de sistemas en la producción de mango en la región de Cundinamarca, Bogotá. En su investigación se concentraron en cuatro escenarios en el que se variaba diversos parámetros logísticos en torno a los niveles de inventario en almacenes, tiempo de transporte, cantidad de faltantes de mango y pulpa, pérdidas en transporte y cumplimiento de la demanda.

Para la presente investigación se tomó como referencia la cadena agroindustrial de tomate rojo en México que se muestra a continuación en la Figura 1.

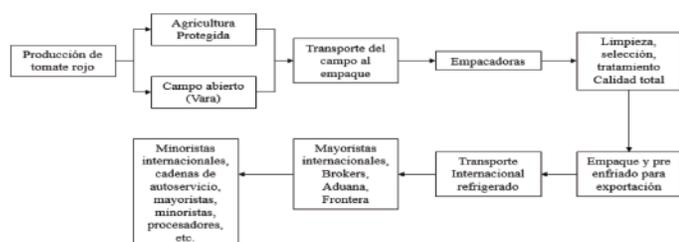


Figura 1. Cadena productiva del tomate rojo en México. Fuente [11]

Como se ilustra en la figura 1, para el tomate de exportación se utiliza la tecnología de agricultura protegida a base de malla e invernadero en donde se producen tomate tipo saladette, bola, cherry y orgánicos. Por otro lado, la cosecha a campo abierto es idealmente solo para saladette y bola. Después son transportados del campo a la empacadora en donde se procede a la limpieza, selección, tratamiento y normas de sanidad necesarias, para posteriormente ser empacados (dependiendo del tipo de tomate se utilizan distintas métricas de empaque) y pre-enfriados para exportación. Luego es transportado hacia la frontera en refrigeración a mayoristas y pasa por la aduana en donde finalmente llega a minoristas internacionales, mayoristas, minoristas, procesadores, entre otros.

Actualmente, las empresas tomateras de México están pasando por una situación severa que podría afectar rigurosamente sus ventas con su principal consumidor. Esto se debe a que Estados Unidos acusa a México de dumping o competencia desleal, por lo que impuso un arancel del 17.5% y exigiendo una inspección del 100% de cargamentos de los productos en frontera, esto puede generar un costo de hasta 270 millones de dólares adicionales para los importadores. Los productores mexicanos se han declarado en contra, sin embargo, no se ha logrado un acuerdo aún. [14]

La presente investigación propone el desarrollo de un modelo capaz de medir el índice de fluidez de la cadena

cadena de suministro del tomate en la región sur de Sonora y que se analicen los posibles escenarios de riesgo que puedan presentarse a lo largo de la cadena de suministro de producción del tomate. Tomando en cuenta lo que mencionan [1], es crítico que las cadenas de suministro globales se encuentren enteradas de los factores de riesgos en sus diferentes entornos y concentren estrategias de mitigación adecuadas.

#### A. Materiales

El software Stella Architect, es una herramienta de modelación que sirve para crear simulaciones y presentaciones, que ayudan a comprender mejor cómo funciona un sistema e identificar posibles áreas de oportunidad.

Software Vensim, es un programa de simulación de nivel industrial para mejorar el rendimiento de sistemas reales. El conjunto de sus características garantiza la calidad del modelo, la conexión de datos, distribución flexible y algoritmos avanzados.

Biblioteca Virtual ITSON, es una plataforma que permite consultar una gran diversidad de artículos con información bibliográfica de diversas áreas del conocimiento, tales como tesis electrónicas, información del INEGI, materiales de texto, diccionarios, bases de datos entre otros.

Información en la red, dado que es un tema relativamente nuevo, para investigación del estado del arte de la aplicación de dinámica de sistemas en las cadenas de suministro del sector agroindustrial, así como eventos disruptivos en la cadena e información sobre la producción, empaquetado, distribución y venta del tomate para exportación.

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados conseguidos con la metodología expuesta en el capítulo anterior.

A. Mapa de distribución del tomate

Con la intención de construir la cadena de suministro base capaz de representar el proceso de distribución del tomate, la Fig. 2, recopila como referencia la información expuesta por la secretaría de agricultura y desarrollo rural (SADER), la agencia de servicios a la comercialización y desarrollo de mercados agropecuarios (ASERCA) y el centro de información de mercados agroalimentarios (CIMA).

B. Factores de riesgo para la cadena de suministro del tomate.

Al realizar una investigación rigurosa de los factores que afectan de manera más directa a la cadena de suministro del tomate, se tomaron en cuenta como principales los siguientes presentados en la Tabla II.

TABLA II. RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO DEL TOMATE

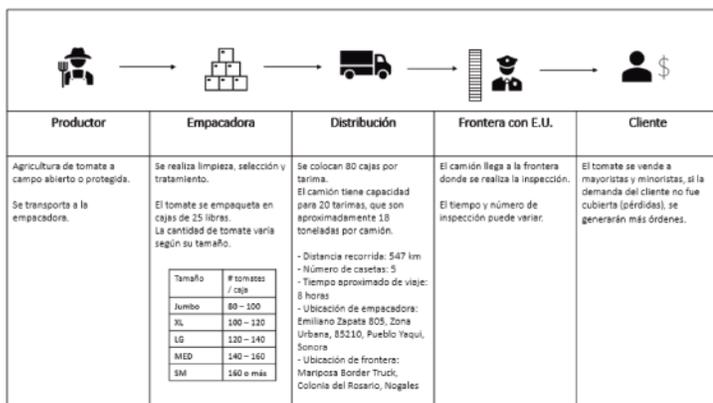


Figura 2. Proceso de distribución del tomate para exportación. Fuente [11]

La Figura 2 representa el proceso de la cadena de suministro del tomate, ésta se divide en dos modos de producción, el primero, la agricultura protegida y el segundo el cultivo a campo abierto. Posteriormente se transporta el tomate cosechado a las empacadoras en donde se realiza la limpieza y selección de éstos. Finalmente son empacados para exportación en transportes refrigerados que pasan por la frontera hacia mayoristas y minoristas internacionales recorriendo un total de 547 kilómetros desde la empacadora en ciudad obregón Sonora, hasta la frontera en Mariposa, Nogales, tomando un tiempo de viaje promedio de seis horas, sin tomar en cuenta variaciones en los tiempos de cruce de casetas de peaje.

Cabe señalar, que, para la construcción del modelo propuesto por la presente investigación, se tomarán en cuenta todos los tiempos agregados a la distribución siendo estos: casetas, tráfico, distancia total para el escenario actual y posteriormente se agregaron los eventos disruptivos para evaluar los escenarios de estudio.

Etapa	Riesgos	Nivel de riesgo		
		Desviación	Disrupción	Desastre
Producción	Plagas			X
	Factores climatológicos (heladas, lluvias excesivas, etc.)		X	
Empaque	Producto maltratado	X		
Distribución	Actos criminales	X		
	Accidentes viales	X		
	Carreteras en mal estado	X		
	Bloqueos en casetas	X		
	Retenes	X		
	Protestas	X		
	Desastres naturales			X
Frontera	Regulaciones por parte de otros países		X	
	Retención de transporte de carga	X		
	Pandemias			X
	Ataques terroristas			X
Mayoristas y minoristas	Falta de información	X		
	Producto a bajo precio por madurez	X		
Consumidor	Cambios en la demanda		X	

Fuente: propia

La Tabla II muestra los riesgos potenciales en cada etapa de la cadena de suministro y los clasifica como desviación, disrupción y desastre según su impacto potencial en las operaciones de la cadena de suministro. Esta escala fue propuesta por [15] y consiste en asociar los riesgos potenciales al lapso de tiempo que duraría la interrupción del flujo en la cadena de suministro en el caso de que se materialice dicho riesgo. Dado a la ausencia de investigaciones de referencia que permitieran determinar el nivel del impacto de cada riesgo, se optó por una estrategia de determinación cualitativa de cada caso y para lo cual se contó con la participación y experiencia de productores locales sobre el impacto de los riesgos y que puede verse en la Tabla II.

Para la construcción de los escenarios que serán presentados más adelante, se determina como el métrico de interés el índice de fluidez en el eslabón de

distribución, por lo que de la Tabla II se tomarán los que se relaciona con eventos disruptivos inesperados que pueden afectar la cantidad de producto y el tiempo que toma antes de llegar al cliente final, como lo son: bloqueos carreteros, desastres naturales, robos de mercancía entre otros.

### C. Diagrama causal

Se realizó un diagrama causal de la distribución del tomate en el programa Vensim, tomando en cuenta desde el productor de semillas hasta el cliente final. La variable principal fue el nivel de inventarios en cada eslabón, considerando que lo ideal es que el nivel se mantenga de manera constante. Ver Figura 3.



Figura 3. Diagrama causal.  
Fuente: Elaboración propia

El diagrama muestra cómo es que con base en un inventario objetivo, las necesidades de producción del productor son traducidas en órdenes para el proveedor de semillas, quien a su vez consulta su inventario para ver si puede cubrir la demanda del productor, una vez hecho esto, el inventario de semillas se dirige al productor de tomate. Posteriormente ese inventario en tránsito de tomate se dirige a la empacadora, la cual tiene una capacidad máxima de empaque. Después el inventario en tránsito ya empaquetado se dirige al cliente final, pasando primero por la frontera en donde se realiza una inspección, pudiendo encontrar dos resultados posibles que son la aceptación o rechazo del lote de producto. Una vez aceptado se entrega al cliente el producto, asegurándose que la demanda sea cumplida y en caso de existir necesidades no cubiertas se lanzan nuevas órdenes de producción reiniciando todo el ciclo.

### D. Simulación y validación del modelo

Se realizó una simulación del modelo de Forrester basado en el diagrama causal a partir de la

distribución, el cual arrojó como datos principales la cantidad de inventario objetivo y el índice de fluidez de viaje, cabe mencionar que el tiempo de simulación fue de 480 minutos referente a una jornada laboral de 8 horas al día, considerando como unidad de media minutos por efectos de los tiempos presentes en cada evento a lo largo del proceso de distribución del producto.

### 4.7 Validar el modelo

La validación del modelo se llevó a cabo mediante la realización de tres pruebas, donde la primera de estas fue la evaluación de consistencias de unidades la cual consiste en solicitar una evaluación al software en relación a las unidades presentes en el modelo. Ver Figura 4.

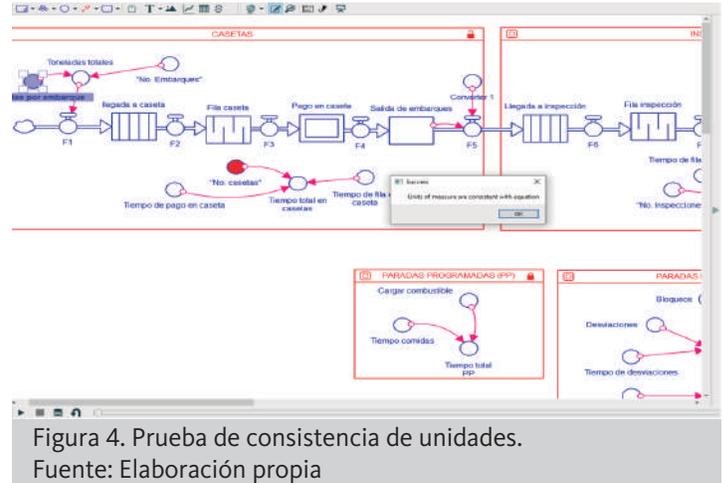


Figura 4. Prueba de consistencia de unidades.  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura anterior, al centro del diagrama se encuentra un mensaje el cual asevera que las unidades presentes en el modelo son consistentes con las ecuaciones; una segunda validación, fue la prueba de extremos la cual consistió en determinar la variable principal del modelo siendo esta las toneladas de tomate por embarque asignándole un valor extremo inferior de cero. Ver Figura 5.

En el modelo, se puede apreciar cómo al asignarle un valor de cero a la variable principal, este no genera ningún comportamiento en sus variables, por lo que el inventario en cruce es nulo, aseverando que este funciona bajo la lógica por la cual fue desarrollado; Por último en lo respectivo a la validación, el modelo fue presentado a un grupo de personas dedicadas a la

exportación de tomates de la región, siendo estos quienes ratificaron que el modelo generaba información apegada a la realidad de acuerdo a las diferentes situaciones que se presentaban en los viajes.

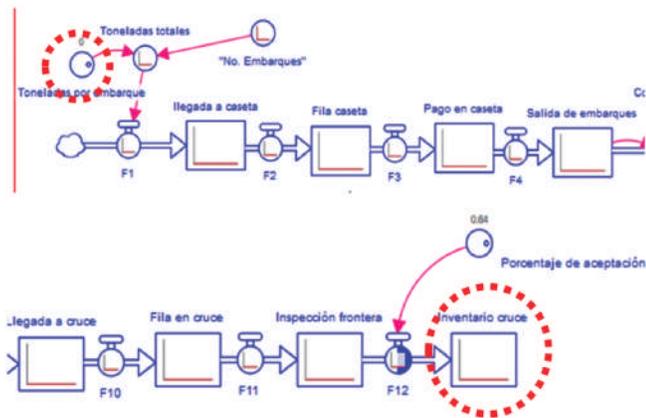


Figura 5. Prueba de extremos.

Fuente: Elaboración propia

Por lo que una vez superada esta etapa se prosiguió con el desarrollo de la interfaz para el usuario la cual consta de dos elementos, ver Figura 6.



Figura 6. Interfaz de usuario- panel de control

Fuente: Elaboración propia en Stella Architect.

El primer elemento que compone la interfaz gráfica con el usuario es el panel de control del modelo en el cual se muestran las variables auxiliares que interviene en el índice de fluidez e inventario de cruce, considerando información de eventos presente en la trayectoria del viaje como lo son casetas, inspecciones, bloqueos, desviaciones y desastres naturales, entre otros, siendo estas de forma editable. Así como los botones de funcionamiento que permiten correr el modelo y resetear el total de datos de entrada en el momento que el usuario lo considere necesario.

En la Figura 7, se presenta el segundo elemento de la interfaz, la cual tiene como objetivo, mostrar la información de interés para el tomador de decisiones.



Figura 7. Análisis de datos.

Fuente: Elaboración propia en Stella Architect.

En la filmina referente al análisis de datos, se muestra información relacionada con los tiempos de viaje, considerando las paradas programadas y no programadas, tiempos en casetas e inspecciones entre otras, además se identifica el índice de fluidez considerando el tiempo de flujo libre vs el tiempo total real de acuerdo a los diferentes eventos presentes durante el transcurso del viaje, así como el total de toneladas entregadas en la frontera de acuerdo al porcentaje de aceptación o rechazo.

En el caso del escenario actual, se muestran en las paradas no programadas un tiempo total de 43.9 minutos, cabe mencionar que dentro de estas se encuentran eventos como bloqueos, desviaciones y desastres naturales, entre otros; Mientras que en las paradas programadas como comidas y carga de combustible 73.8 minutos; En lo referente a casetas, inspecciones en el territorio mexicano, inspección e inspección extras en frontera en caso de ser necesario y tiempo de cruce son de 57.8, 105, 46.4, 76.8 y 98.6 minutos respectivamente, por lo que la suma del tiempo total del viaje da como resultado 503 que al compararlo con el tiempo de viaje de flujo libre de 480 minutos se obtiene un índice de fluidez del 95.5% y en relación al total de toneladas cruzadas, se consideró para efecto de modelación un embarque de 14.4 toneladas con una probabilidad de aceptación del 64%, dando como resultado 9.22 toneladas de tomate aceptado.

*E. Escenarios Optimista y pesimista.*

En la presente publicación se exponen dos escenarios de evaluación cuyos resultados se presentan a continuación, comenzando por el escenario optimista.

En el primer de los casos se analizó el escenario optimista en el cual los elementos que intervienen en el modelo se modificaron a favor del mismo, registrando los siguientes ajustes:

- Se incrementa el total de toneladas por embarque a 20 toneladas.  
Se incrementa la tasa de aceptación a un 95%.
- Se reducen los tiempos de inspección obligatorias, así como el número de inspecciones extras en el viaje.
- Se reduce el tiempo en filas por caseta y no se presentan paradas programadas derivadas de bloqueos, desviaciones y desastres naturales.
- Se disminuyen los tiempos de inspección e inspección extra en frontera, así como el tiempo de cruce.

Con estos ajustes los resultados de la evaluación del escenario optimista se muestran en la Figura 8.



Figura 8. Resultados del escenario optimista.  
Fuente: Elaboración propia en Stella Architect.

Se observa que, en el escenario optimista, se redujeron considerablemente los tiempos en las paradas programadas, derivado a que no se presentó ningún evento que interrumpiera el flujo del viaje, al igual que disminuyen los tiempos en casetas e inspecciones lo

beneficia al tiempo total de recorrido disminuyendo a 425 minutos totales, que por ende se beneficia el índice de fluidez por encima del 100% debido a que el tiempo total, es menor al tiempo de flujo libre establecido.

En relación a las toneladas de tomate aceptadas se incrementan a 19 toneladas, siendo esto posible derivado a los ajustes realizados en el total de toneladas por embarque y la tasa de aceptación del producto en la frontera.

Por otro lado, se analizó un tercer escenario siendo este un escenario pesimista de la investigación, el cual refleja resultados no viables puesto que las variables inertes son modificadas negativamente, registrando los siguientes ajustes:

- Se disminuye el total de toneladas por embarque a 10 toneladas.
- Se disminuye la tasa de aceptación a un 50%.
- Se incrementan los tiempos de inspección obligatorias, así como el número de inspecciones extras en el viaje.
- Se incrementa el tiempo en filas por caseta y se presentan paradas programadas derivadas de bloqueos, desviaciones y desastres naturales.
- Se incrementan los tiempos de inspección e inspección extra en frontera, así como el tiempo de cruce.

Con estos ajustes los resultados de la evaluación del escenario optimista se muestran en la Figura 9.



Figura 9. Resultados del escenario pesimista.  
Fuente: Elaboración propia en Stella Architect.

En relación al escenario pesimista, se observa que, hubo un incremento considerable en los tiempos de las paradas no programadas, debido a que se presentaron bloqueos carreteros, desviaciones y desastres naturales, así como incremento en los tiempos de filas casetas e inspección, además de existir la presencia de inspecciones extras al en el transcurso del viaje, ante dicha situación el tiempo total de recorrido se incrementó a 758 minutos generando una descompensación en el índice de fluidez con una disminución a 63.3%.

En relación a las toneladas de tomate aceptadas se disminuyeron a diez toneladas, debido a los ajustes realizados en el total de toneladas por embarque y la tasa de aceptación del producto en la frontera.

## V. CONCLUSIONES

La cadena de suministro del tomate en la región sur de Sonora, norte de Sinaloa, es uno de los principales productores de exportación del país. Por lo que se cree que es de suma importancia implementar herramientas como el modelo propuesto en esta investigación, ya que, permitirá a los tomadores de decisiones contar con más información sobre el comportamiento de la cadena de suministro en escenarios disruptivos, permitiéndoles desarrollar estrategias proactivas de acción contribuyendo a construir sistemas más robustos y eficientes.

Se demostró que la dinámica de sistemas es una herramienta que brinda muchos beneficios a las organizaciones ya que se pueden analizar situaciones o eventos disruptivos en cuestión de minutos y analizar de manera simultánea como dichos riesgos pueden afectar distintas áreas de la cadena de suministro. específicamente para la cadena de suministro del tomate, se logró determinar el comportamiento ante los efectos que tienen las interrupciones en la distribución y el índice de fluidez.

El modelo presentado puede ser utilizado para futuras investigaciones que busquen analizar otros aspectos de la gestión y control de riesgos, ya que en esta ocasión únicamente se asignaron los riesgos al eslabón de distribución.

Se propone extender el modelo para que pueda analizar de manera aleatoriamente la ocurrencia de dos o más tipos de riesgos en todos los eslabones de la cadena, con el fin de poder tener información completa en caso de que se presente un escenario no deseado, en cualquier eslabón, para que los tomadores de decisiones puedan proactivos ante los eventos disruptivos aún y cuando se consideren de baja probabilidad de ocurrencia.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores del presente documento y miembros del Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística-Consolidación, agradecen el apoyo recibido a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) del programa de “Laboratorios Nacionales”. Asimismo, se agradece el financiamiento por parte del ITSON a través de los proyectos anuales del PROFAPI y del Programa para el Desarrollo del Profesional Docente (PRODEP). En especial a todos los expertos participantes que amablemente compartieron información que permitió dar viabilidad al modelo y a los escenarios bajo análisis en la presente investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Chopra, S., & Meindl, P. (2013). Administración de la cadena de suministro. México: Pearson Education
- [2] Ardila, A. W., Romero, H. D., González, R. F. (2014). Estrategias para la gestión de riesgos en la cadena de suministros. LACCEI.
- [3] Bueno-Solano, A., and M. G. Cedillo-Campos . 2014. “Dynamic Impact on Global Supply Chains Performance of Disruptions Propagation Produced by Terrorist Acts.” Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 61: 1–12.10.1016/j.tre.2013.09.005
- [4] Spekman, R. E., & Davis, E. W. (2004). Risky business: Expanding the discussion on risk and the extended enterprise. Emerald Insight.
- [5] Waters, D. (2007). Supply chain risk management. London: Kogan Page Limited

[6] Jüttner, U., Peck, H., & Christopher, M. (2003). Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. *International Journal of Logistics*, 197 - 210.

[7] Manuj, I., & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management strategies. *Emerald Insight*.

[8] Castellanos, D. O., Torres, P. L., & Domínguez, M. K. (2009). Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales. Bogotá: Giro Editores Ltda.

[9] Vianchá, S. Z. (2014). Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos. *Ingeniería y desarrollo*, 138-154.

[10] Ruíz, M. A., Caicedo, O. A., Orjuela, C. J. (2015). Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte. *Ingeniería*, 167-188.

[11] CIMA. (2019). Reporte del mercado de tomate rojo. Obtenido de CIMA:  
[https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte\\_mercado\\_jitomate\\_130319.pdf](https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_jitomate_130319.pdf)

[12] Solórzano, A. I. (Junio de 2014). MAG. Obtenido de Ministerio de agricultura y ganadería Costa Rica:  
[http://www.mag.go.cr/acerca\\_del\\_mag/circulares/rec\\_hum-m anual-riesgos-peligrosidad.pdf](http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/circulares/rec_hum-m anual-riesgos-peligrosidad.pdf)

[13] Orjuela, C. J., Caicedo, O. A., Ruíz, M. A., & Adarme, J. W. (2016). Efecto de los mecanismo de integración externa en el desempeño logístico de cadenas frutícolas. Un enfoque bajo dinámica de sistemas. *Revista Colombiana de Ciencias hortícolas*, 311-322.

[14] EXPANSIÓN. (13 de Agosto de 2019). La inspección de tomates mexicanos en la frontera generará sobre costos por 270 mdd. *Expansión*.

[15] Gaonkar, R., Viswanadham, N., (2004). A Conceptual and Analytical Framework for The Management of Risk in Supply Chains, *IEEE Trans Automation Syst Eng*, submitted.

# Herramientas leanlogistics en la distribución de Gas LP

Maria Paz Gpe Acosta Quintana  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)  
Ciudad Obregón, Sonora México  
marypaz.acosta@itson.edu.mx

Jesús Roberto Camacho Mares  
Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)  
Ciudad Obregón, Sonora México  
Jesusr\_camacho97@hotmail.com

Arnulfo Aurelio Naranjo Flores  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)  
Ciudad Obregón, Sonora México  
anaranjo@itson.edu.mx

Alfredo Bueno Solano  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)  
Ciudad Obregón, Sonora México  
alfredo.bueno30761@potros.itson.edu.mx

---

*Resumen— Esta investigación se enfocó en el proceso de distribución de una empresa de gas, la cual maneja como estrategia a sus clientes que su cilindro de gas será entregado en 30 minutos, considerando que cuenta con vehiculos asignados a las diferentes colonias para asegurar la entrega en el tiempo establecido, lo cual no ha sido posible, estableciendo esta situación como su principal problema. Para darle solución al problema se utilizaron herramientas de Lean logistics como Project charter, SIPOC, Diagrama causa efecto y AMEF, permitiendo a través de su aplicación definir la problemática, el alcance del proyecto, así como los objetivos. A través del SIPOC fue posible identificar aquellas actividades críticas que están impactando en la problemática siendo el llenado de los cilindros y el desconocimiento de la capacidad de carga de las unidades. La actividad que está impactando en el tiempo de entrega es la de ventas de cilindros que contempla la comercialización y la distribución y esto se debe a que no se tienen controles en el proceso, generando variaciones en los tiempos de entrega en las diferentes colonias y por ende no se cumple con el indicador. La propuesta es considerar unidades de apoyo en aquellas colonias con mayor demanda para poder dar respuesta a los requerimientos del cliente. Finalmente, se puede concluir que la implementación de estrategias relacionadas con el servicio al cliente requiere de tener procesos lean, que se enfoquen en agregar valor al cliente permitiendo así cumplir con sus requerimientos, lo cual favorece al incremento de las ventas. La implementación de estas herramientas leanlogistics permitió resolver el problema y a la empresa dar cumplimiento a lo pactado con su cliente, una entrega en un lapso de 30 minutos.*

*Palabras Clave: leanlogistics, distribución, herramientas*

## I. INTRODUCCIÓN

El servicio a domicilio ha sido una estrategia que le ha permitido a las empresas incrementar sus ventas, pero para generar ventajas competitivas ofrecen tiempos de entrega cortos con el objetivo de satisfacer al cliente y lograr así su preferencia en los futuros servicios. Para algunos esta estrategia les ha favorecido pero para otros ha sido un factor que les ha provocado muchos problemas a resolver.

La empresa bajo estudio brinda un servicio de comercialización de Gas LP, la empresa nació a mediados del año 1997, la cual da inicio con un servicio de carburación, al día de hoy es conocida a nivel Regional teniendo más de dos décadas trabajando para brindar un servicio de mejor calidad y brindar una gran variedad de servicios los cuales se explican a continuación:

**Doméstico:** Ofrece venta de cilindros de diferentes tamaños dependiendo la ubicación de la planta, en la planta de la ciudad se manejan 2 cilindros que son de 30Kg y de 45Kg, y también se manejan los tanques estacionarios.

**Comercial e Industrial:** Es servicio se brinda a negocios del tamaño micro y macro empresas, los cuales se manejan en grandes cantidades de GLP.

**Carburación:** El servicio es brindado en puntos céntricos de la ciudad para crear accesibilidad en la compra de volúmenes bajos de GLP para el cliente.

**Técnico:** El servicio es totalmente gratis para las personas que son clientes de la empresa

Las principales actividades son almacenar, recargar y distribuir el producto Gas LP, los pasos para poder realizarlo de la manera correcta son los siguientes:

- Almacenaje de cilindros (vacíos) y almacenaje de Gas L.P.
- Revisión de cilindros.
- Recarga de cilindros.
- Entrega de cilindros a cada unidad de reparto.
- Brindar un servicio al cliente en la entrega de cilindros.

El mercado atendido es en el sector doméstico, por lo cual es un producto utilizado por todos los miembros de la casa, el Gas L.P. se utiliza en en la cocina y en los calentadores de agua (Boilers), la venta se realiza en el interior de la ciudad o fuera de ella (Valle). La empresa no cuenta con una referencia para la distribución realizándola de manera empírica.

Existe una brecha entre la situación actual y la deseada en el área de distribución de cilindros de GLP, lo anterior se debe a que la empresa tiene un tiempo establecido para realizar la entrega de cilindros, los cuales son muy elevados. El tiempo de entrega establecido (TPE) para la entrega debe ser  $\leq 30$  min. En la Figura 1 se muestra el comportamiento que se ha tenido en el último mes, el cual en meses anteriores ha sido recurrente.

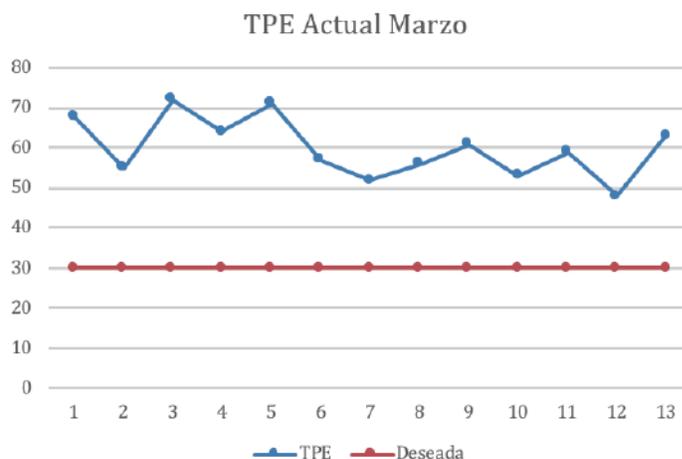


Figura 1. Tiempo Promedio de Entrega de Marzo  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa. (2020)

El incumplimiento en los tiempos de entrega se debe a que la empresa tienen una estrategia en la asignación de los vendedores a un sector para realizar la distribución, la cual consiste en cada uno atiende a su sector y no pueden atender un pedido de otro sector aun cuando este cerca del mismo influyendo a que los pedidos se realicen en tiempos tardíos.

Dado lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué acciones se pueden llevar a cabo para disminuir a un 30 por ciento los tiempos de entrega en el servicio de distribución de Gas L.P.?, para darle solución al problema se estableció el siguiente objetivo: Proponer acciones de mejora orientadas a la distribución

de Gas L.P. de una empresa de la región que permita disminuir los tiempos de entrega de cilindros.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Si bien la alta incertidumbre en la cadena de suministro puede ser inevitable en el entorno altamente competitivo de hoy en día, esta no necesariamente conduce a mayores riesgos si las empresas han implementado sistemas flexibles de cadena de suministro y manufactura como contramedidas, resultando importante contemplar procesos de aprendizaje estratégico, a través de sus elementos intraorganizacionales que posibilitan la difusión, interpretación e implementación del conocimiento estratégico, permite a las empresas capitalizar los beneficios de las estrategias tanto de exploración como de explotación [1] [2]. Por lo cual las empresas deben trabajar en tener una estrategia sólida y adaptada a la realidad y su entorno que les permita crear una posición ventajosa respecto a su competencia [3].

La implementación de una estrategia en empresas independientemente de su giro o actividad no es cosa fácil, requiere de una rigurosa planeación estratégica, la cual consiste en un profundo estudio de la esencia de la empresa, sus filosofías, sus fortalezas y sus debilidades, así como un análisis del ambiente en el que se encuentra la organización, para entregar valor desde la perspectiva social, económica y ambiental [4]. Para que de esta manera los altos mandos tengan claro el rumbo en el que la empresa debe evolucionar, que acciones se deben de cumplir para llegar a esa meta establecida [5]. Para verificar el cumplimiento de la implementación de la estrategia a los tomadores de decisión se les debe de dar información precisa y puntual cuando sea necesario, y contrario a las tradicionales reuniones periódicas y a los extensos reportes ejecutivos. Se debe de informar de los problemas que afectan directamente al mapa estratégico en el momento que sean detectados [6].

Para lograr la estrategia se deben de llevar a cabo acciones que agreguen valor y que permita que todo fluya correctamente, para lo cual la logística es la parte del proceso de gestión de la cadena de suministro

encargada de planificar, implementar y controlar de forma eficiente y efectiva el almacenaje y flujo directo e inverso de los bienes, servicios y toda la información relacionada con éstos, entre el punto de origen y el punto de consumo, con el propósito de cumplir con las expectativas del consumidor [7], pero además de estas actividades se debe de buscar satisfacer la demanda al menor costo, incluidos los flujos de información y control [8], impactando en el servicio al cliente.

Existen en el mercado empresas que ofrecen servicios en tiempos establecidos, los cuales forman parte de la estrategia para ser más competitivos, pero en ocasiones al no administrar las actividades se convierte en un problema, es por ello que se requiere de eliminar todo aquello que no agrega valor y que no impacta en el logro de estos tiempos. Lean logistics es una filosofía que está tomando cada vez más importancia y existen diversas definiciones de lean logistics y cada una se enfoca a un aspecto que la hace aún más relevante. Desde una perspectiva de proceso [9]. La define como el mejoramiento continuo de la cadena de valor al cliente y la continua eliminación de desperdicio en la logística interna y externa”, en cambio [10] como un tipo de logística que permite reconocer y eliminar actividades innecesarias de la cadena de suministro con el fin de incrementar el flujo y la velocidad de producción” y finalmente por su objetivo [11] eliminar los desperdicios lo cual disminuye el trabajo en inventarios y reducciones de tiempos aumentando así el flujo y la velocidad de la cadena de suministros. [12] señala que los principales objetivos de la filosofía son: distribuir el material necesario, cuando es necesario en la cantidad adecuada y convenientemente presentado mirando hacia atrás de la cadena de suministro; buscar la efectividad en la distribución de productos mirando hacia delante de la cadena de suministro; eliminar los despilfarros en cada eslabón de la cadena para mejorar la efectividad de las operaciones y acortar los plazos de entrega en cada eslabón de la cadena para llegar antes a los clientes.

Una implementación exitosa, de acuerdo [13]Baudin (2006), puede medirse a través de los indicadores claves del proceso de logística, tanto en los almacenes como en la cadena de distribución y pueden esperarse los siguientes resultados: - Disminución de hasta un

50% en los tiempos de entrega de producto final o servicio. - Disminución de hasta un 50% en los inventarios de las empresas. - Aumento de hasta un 100% en la contabilidad del inventario. - Disminución de hasta un 30% de horas hombre laboradas

El impacto de la metodología Lean en la logística es bastante significativa, ya que el objetivo del Lean es eliminar los desperdicios, reduciendo así el trabajo en el proceso de inventarios que, a su vez, disminuye los tiempos de ciclo y, aumenta la velocidad del flujo en la cadena de suministro [11]. Un reto importante para los mayoristas, fabricantes, minoristas, distribuidores, proveedores, y cada una de las partes involucradas en la cadena de suministro es el de reducir los costos y mantener el equilibrio a lo largo de ésta, respetar horarios y mantener un inventario ideal en los procesos [8].

### III. METODOLOGÍA

La metodología utilizada [14] se describe a continuación. El primer paso consistió en realizar una visita a todas las áreas que se encuentran involucradas y cuentan con una mayor relación con el proceso de distribución y comercialización con el fin de identificar cuál es la función de cada una de ellas.

Se analizó cada una de las áreas con los responsables de ellas, para identificar las principales problemáticas, factores de impacto y todos aquellos indicadores que se encuentran involucrados.

Al realizar un análisis de la problemática, se generó como resultado la elaboración de la carta de proyecto (Project Charter) en el cual se definió el problema, indicadores a evaluar, objetivo, alcance, equipo de trabajo, recursos, así como la situación actual.

Una vez definido el problema, se elaboró un mapa de proceso donde se identificaron las variables tanto de entrada (X) como de salida (Y). Con la información obtenida anteriormente, se realizó una matriz de causa y efecto, donde se enlistaron y ponderaron las entradas (críticas y controlables) y salidas clave del proceso con el fin de identificar aquella actividad de mayor impacto

sobre la problemática detectada. Posteriormente, se llevó a cabo la recopilación y captura de la información necesaria para su medición y análisis generando como producto una base de datos con dicho contenido. Con ayuda de las variables identificadas se realizó un AMEF, el cual consiste en identificar todo aquello que afecta al objeto bajo estudio, y poder así atacar a todo lo que muestre una mayor afectación a dicha área.

A través de la información recopilada, se diagnosticó cuáles eran las colonias con mayor tiempo de entrega y poder así conocer donde se ubicaba cada una de ellas dentro de su sector correspondiente. De esto se generó, un mapa de la ciudad en el cual se representa cada uno de los sectores de venta, los cuales cuentan con sus promedios de tiempos de entrega correspondientes.

Se realizó un análisis de los datos para el comportamiento de los tiempos de entrega y cancelaciones realizada en los últimos dos años, este análisis ayudó a generar las propuestas de mejora que permitiera atender la demanda y cumplir con los tiempos de entrega, considerando las capacidades de las unidades y pronóstico de la demanda.

### IV. RESULTADOS

A partir de la aplicación de la metodología se obtuvo primeramente el Project Charter en la cual se dan a conocer los elementos mas importantes sobre el problema y el alcance de la solución a generar en la TABLA I se muestran cada uno de estos.

En la TABLA I se describe la situación del indicador a evaluar, cual es el su comportamiento actualmente, el cómo se debe ubicar, el alcance que tendrá y los principales factores que dan origen a la brecha identificada y cómo está afecta a la empresa. Además, también se especifica el objetivo, alcance, equipo de trabajo y recursos necesarios para el proyecto.

Por otra parte, se indica la situación actual de la empresa bajo estudio haciendo referencia a la meta establecida del indicador de tiempo de entrega. Cabe

TABLA I. PROJECT CHARTER

CARTA DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO				
Nombre del iniciador: Tiempos de entrega y Porcentaje de cancelaciones		Fecha de inicio: enero 2020		
Fecha: 05-marzo-2020		Fecha esperada fin: mayo 2020		
<b>1. CASO DE NEGOCIO</b>				
Como compañía, el desempeño de nuestro tiempo de entregas y porcentaje de cancelaciones para el área de ventas no está cumpliendo con la meta de 30 minutos y del 3% de cancelaciones totales por mes. Esto está causando problemas de pérdida de clientes, los cuales cuestan alrededor de \$275,580.9 pesos al mes.				
<b>2. PROPÓSITO (CTQ's a mejorar)</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempos de entrega.</li> <li>Porcentaje de cancelaciones.</li> </ul>				
<b>3. OBJETIVO DEL PROYECTO Y ENTREGABLES</b>				
Reducir los tiempos de entrega a $\leq 30$ minutos y a su vez reducir el porcentaje de cancelaciones al 3 por ciento el cual es el valor máximo.				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de entregas.</li> <li>Incremento de ventas debido a la mejora de distribución.</li> </ul>				
<b>4. ALCANCE</b>				
El alcance de este proyecto es el realizar propuestas de distribución de rutas en el reparto de Gas L.P., el cual se verá reflejado en las ventas disminuyendo el porcentaje de cancelaciones y disminuyendo los tiempos de entrega.				
<b>5. ROLES Y RESPONSABILIDADES</b>				
Stakeholders:		Empresa bajo estudio		
Patrocinadores:		Gerente Comercial		
<b>6. RECURSOS (No humanos)</b>				
Base de datos utilizadas por la empresa, Microsoft Excel 2016				
<b>7. MÉTRICOS</b>				
No.	Métrico	Actual	Objetivo	Comentarios
	Tiempos de entrega.	$\geq 40$ min	$\leq 30$ min	
	Porcentaje de cancelaciones	5%	3%	
Fecha: 05-marzo-2020				
Aprobado por: Gerente Comercial		Fecha: 05-Marzo-2020		

Fuente: Elaboración propia

destacar que el incumplimiento de dacha indicador es debido a la sectorización y realización de la distribución de los cilindros, por lo que se considera necesario el estudio adicional de aquellos que no se abordaron en el presente proyecto.

Del mismo modo la meta descrita hace referencia al límite superior definido por la organización, sin embargo, no a la que se pretende alcanzar a partir del desarrollo del proyecto. Lo anterior es debido a que el comportamiento del sistema bajo estudio cuenta con variables, las cuales presentan constantes variaciones y a su vez son independientes por lo que el fijar una meta no se considera una alternativa, sino una necesidad.

Cabe destacar que la brecha identificada fue obtenida a través de realizar un análisis de los tiempos de entrega de los meses del año en curso.

Para la elaboración de la etapa de medición, se realizó un mapa de procesos en cual se identificaron cada una de las actividades y áreas que integran al proceso donde influye los tiempos de entrega. Por otra parte, dentro de cada una de ellas se enlistaron variable de

centrada y de salida, las cuales fueron clasificadas de acuerdo a lo siguiente: C, entradas controlables; N, entradas de ruido; S, operación estándar y X, entradas críticas. A continuación, en la tabla 2 se puede observar todo lo mencionado anteriormente.

TABLA II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO BAJO ESTUDIO

Entradas del proceso	Clasificación de la variable	Actividad	Salida del proceso
Gas L.P.	X	Rellenado de cilindros	Cilindros cargados Check list de salida
Cilindros	X		
Personal	N		
Báscula	S		
Cilindros cargados	S	Carga de cilindreras	Cilindreras cargadas
Capacidad de la unidad	X		
Sector de unidad	N		
Personal de Anden	N		
Personal de Ventas	S	Sellado de cilindros	Cilindros sellados
Gas L.P.	X		
Cilindros	X		
Personal	N		
Báscula	S	Carga de cilindreras	Cilindreras cargadas
Sello de garantía por capacidad	X		
Cilindros recargados	S		
Secadora industrial	S		
Personal	N	Realizar venta	Tiempo de entrega
Cilindros	S		Registro de venta
Chofer	N		Ticket de venta
Tiempo $\leq 30$ min	X		Clientes atendidos
Distancia	X		Consumo de combustible
Sector	N		Kilómetros recorridos
Combustible	N		Cilindro vacío
Condición del vehículo	N		
Orden de pedido	X		
Capacidad de carga.	N		
Herramientas de trabajo	N		
Registro de ventas	N		Liquidar en planta
Ticket de venta	X		Formato de liquidación a cajas
Formato de liquidación	X	Descarga de Cilindreras	Unidad lista para recarga
Unidad con cilindros	N		
Cantidad de cilindros con GLP	S		
Cantidad de cilindros de otro color	S		
Cilindros vacíos	S	Pintado de cilindros	Cilindros pintados
Cantidad de cilindros	S		
Pintura	X		
Equipo para pintura	X		
Personal capacitado	N		

Fuente: Elaboración Propia con información de la empresa

Con base a lo expuesto en la Tabla II, la actividad de relleno de los cilindros cuenta con dos variables críticas, las cuales son Gas L.P y los cilindros, ya que si no se cuenta con la cantidad de cilindros cargados necesarios para la carga de las unidades. Dentro de cada una de las actividades se cuenta con por lo menos una actividad ha sido considerada como critica, y el resto como necesarias para ejecutar la acción correspondiente.

Respecto a la realización de las ventas, es indispensable el tener el conocimiento de cuál es la capacidad de carga de cada de las unidades, la orden del cliente, la distancia a recorrer en el transcurso de cada pedido y el tiempo menor a 30 minutos en la entrega de dicho producto. Debido a las entradas a

dicha actividad se obtiene una mayor precisión del número de clientes atendidos, kilómetros recorridos y consumo de combustible.

En la actividad de liquidar es indispensable el contar con los tickets de ventas, ya que con los cuales se realiza una comparación de que se encuentra registrado en el sistema y el cual es la cantidad de cilindros vendidos se encuentra presentando el empleado. Por otra parte, la generación de reportes es elaborada a partir de datos como el control de venta de cilindreras.

Con la identificación de las variables, se colocaron en una matriz de causa y efecto, aquellas que resultaron críticas y controlables para el proceso, así como las salidas de cada actividad, fue posible identificar la actividad de mayor impacto sobre la problemática detectada y por consiguiente llevar a cabo la medición de datos respecto a la situación actual de la misma, como se muestra en la TABLA III.

TABLA III. MATRIZ CAUSA -EFECTO

Actividad	Entradas clave del proceso	Cilindros cargados.															Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Rellenado de cilindros	Cilindros	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	33
	Gas L.P.	9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	12
Carga de cilindreras	Capacidad de la unidad	9	3	3	1	3	1	1	3	9	3	3	1	1	3	1	96
Sellado de cilindros	Sello de garantía por capacidad	1	3	1	9	0	1	0	0	0	0	3	1	0	0	0	55
Realizar ventas	Tiempos30	9	0	3	0	9	3	1	3	1	3	0	0	0	0	0	131
	Orden de pedido	3	0	3	3	3	3	3	9	0	0	3	3	3	1	0	112
	Combustible	0	9	9	0	3	0	0	3	9	9	0	0	0	0	0	99
	Distancia	0	0	1	0	3	0	0	1	9	9	0	0	0	0	0	72
Liquidar en planta	Ticket de venta	1	3	1	1	0	9	9	3	0	0	1	9	9	0	0	62
	Formato de liquidación	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	9	9	9	0	0	48
Descarga de cilindreras	Personal de Anden	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	9	0	0	9	0	23
Pintado de cilindros	Pintura	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	9	33
	Equipo de pintura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	27

Como se puede observar en la TABLA IV, se muestran una ponderación en las salidas claves del proceso, las cuales corresponden a 1, 3, 5 y 10, mientras que para las entradas clave son: 1, 3 y 9, donde el número menor hace referencia a un impacto débil sobre el consumo interno y, el mayor a un impacto fuerte. Cabe destacar

que el puntaje indicado en cada cruce se obtuvo con aportación de los patrocinadores del proyecto.

Posteriormente al obtener su ponderación, se realizó una multiplicación de la ponderación de la entrada por la ponderación de la salida, para después realizar una sumatoria de los resultados obtenidos. Con el total obtenido en cada fila, se acomodaron los valores de manera ascendente, una vez realizado eso se obtuvieron los porcentajes de participación y se realizó un acumulado de los porcentajes, para finalmente obtener un total de 7 variables, las cuales se encuentran dentro del 80% de los efectos.

TABLA IV. AMEF

Operación	Característica clave	Modo de falla	Efecto de falla	Causas	Ocurrencia	Detección	O	D	G	IPR
Realizar ventas	Tiempos30	>30 minutos	CANCELACIONES	Sectorización	Distribución	Sistema de pedidos	10	1	7	70
Realizar ventas	Orden de pedido	>5 pedidos por hora en una zona	CANCELACIONES	Demanda	Call center	Sistema de pedidos	7	1	5	35
Realizar ventas	Combustible	<14 de la capacidad del tanque de la unidad	Incremento de Tiempo de Entrega	Distancia recorrida	Distribución	Marcador del tablero de la unidad	3	1	5	25
Carga de cilindreras	Capacidad de la unidad	<36 cilindros	Incremento del tiempo de entrega	Falta de cilindros	Carga de la unidad	Báscula de carga de cilindreras	7	7	3	147
Realizar ventas	Distancia	>3 km de cada pedido	Mayor tiempo de entrega	Malas asignación del pedido	Call Center	Zeek GPS	7	5	7	245
Liquidar en planta	Ticket de venta	Inexistencia de Ticket de venta	No compra-bar venta	Falla electrónica	Distribución	Sistema de liquidación	1	5	1	5
Sellado de cilindros	Sello de garantía por capacidad	Falta del sello de garantía	Incremento del tiempo de entrega	Error humano	Sellado	No existen controles	3	5	3	45

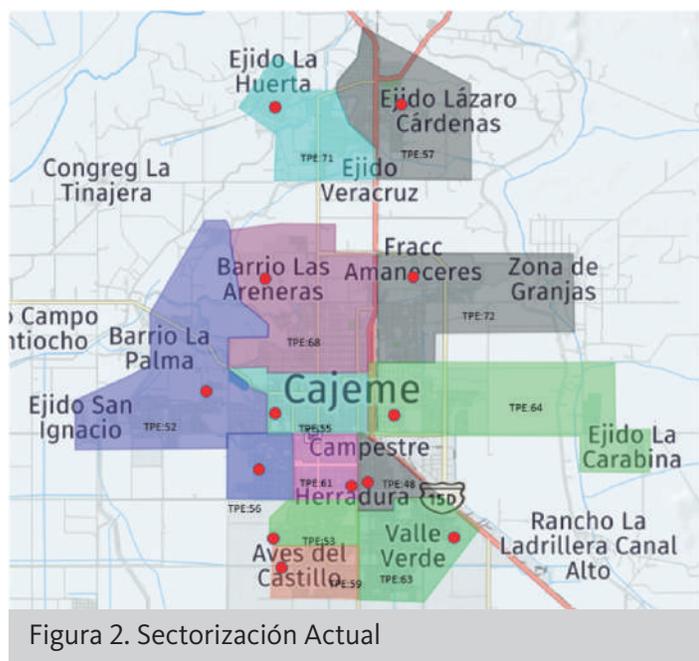
Como se puede observar en la TABLA IV, en la cual se enlistaron las variables extraídas de la matriz causa y efecto, y se definió cual podía ser su posible modo de falla, el efecto que ese generaba, las causas posibles, de qué manera se detectaba y el dónde ocurría. Posteriormente se procedió a ponderar la ocurrencia, detección y gravedad.

A través del AMEF desarrollado fue posible identificar la manera en la cual el proceso puede presentar fallas y de este modo llevar a cabo una planeación para la prevención de las mismas mediante el establecimiento de acciones que permitan reducir el impacto ocasionado sobre el proceso.

Del mismo modo, se observó que los NPR de mayor valor se encuentran en la actividad de realizar ventas esto es debido a que la misma comprende la distribución y comercialización del producto siendo la más significativa para el indicador de Tiempo de entrega. Además, al analizar en su totalidad los datos que conforman el AMEF, se observó que aquellas causas de mayor NPR dependían de la falta de controles actuales de proceso.

Cabe destacar que el producto AMEF fue realizado para identificar cuáles eran las variables que afectaban con un mayor impacto al indicador bajo estudio, por lo cual, en el paso de crear un plan de control, se retomara el documento con la finalidad de reducir el impacto que obtiene dentro del proceso.

Posteriormente para dar un análisis más a detalle del cómo se encuentra el comportamiento del indicador actualmente, se realizó una gráfica en base al mes de marzo del 2019, cabe destacar que toda esta información fue obtenida con ayuda del sistema de pedidos de dicha organización, a continuación, en la Figura 2 se muestra el análisis del comportamiento.



Como se puede observar en la Figura 1 se muestra un análisis de los tiempos de entrega promedio, los tiempos de entrega graficados se encuentran separados según la sectorización actual. La empresa cuenta con una sectorización en la cual se ubica una unidad en solo un sector, sin obtener ayuda de otro sector o unidad.

En la Figura 2 se colocaron unos puntos rojos para identificar las colonias que cuenta con un tiempo de entrega superior al limite dentro del sector, por otra parte, también se pueden observar los tiempos promedios de entrega de cada sector, con lo cual se puede observar que estos tiempo sobrepasan el

tiempo de entrega deseado., identificándose que el valor menor es de 48 minutos y con un valor máximo de 73 minutos.

*Desarrollar las propuestas de mejora*

Para la elaboración del análisis fue necesario la utilización del sistema de pedidos de la empresa bajo estudio, una vez obtenida la información necesaria fue necesaria la utilización de Microsoft Excel, una vez captura toda la información se realizó una separación de toda la información, considerando dentro de la clasificación la cantidad de colonias identificadas por cada cuadrante. Al ser definida la cantidad de cilindros vendidos promedio diario se procedió a el análisis del cual es la carga optima de cada una de las cilindreras, y poder así asignar una cierta cantidad de cilindreras por cuadrante, en la TABLA V se presentará la situación actual.

**TABLA V. SITUACIÓN ACTUAL DE PEDIDOS**

Indicador: % de participación			Vehículo	Carga Actual vs Optima	
Cuadrante	Tipo de cilindro	Ventas diarias		30 Kg	45 Kg
1	30	26	1	18/24	8/12
	45	7	2	10/24	4/12
2	30	69	3	16/24	8/12
	45	17	4	16/20	8/12
3	30	58	5	18/24	10/12
			6	16/24	8/10
	45	14	7	20/24	8/10
			8	15/24	8/12
4	30	33	9	15/24	8/12
	45	8	10	14/24	8/10
5	30	24	11	18/24	8/10
	45	6	12	15/24	8/10
	30	24	13	20/30	8/10
	45	6	14	14/24	8/10

Como se puede observar en la tabla 7 la cantidad de cilindros vendidos por día y lo desbalanceado que se encuentra el trabajo de las cilindreras, lo cual, para la propuesta de mejora, se buscó utilizar la carga optima o máxima para cada una de las cilindreras, lo cual obtiene como resultado una mayor cobertura de clientes y reducción de tiempos de recarga, los cuales por lo regular son en horas de un alto nivel de demanda de pedidos.

Todo esto antes mencionado a continuación, se

presentará en la TABLA VI para la propuesta de sectorización.

TABLA VI. SITUACIÓN PROPUESTA DE PEDIDOS

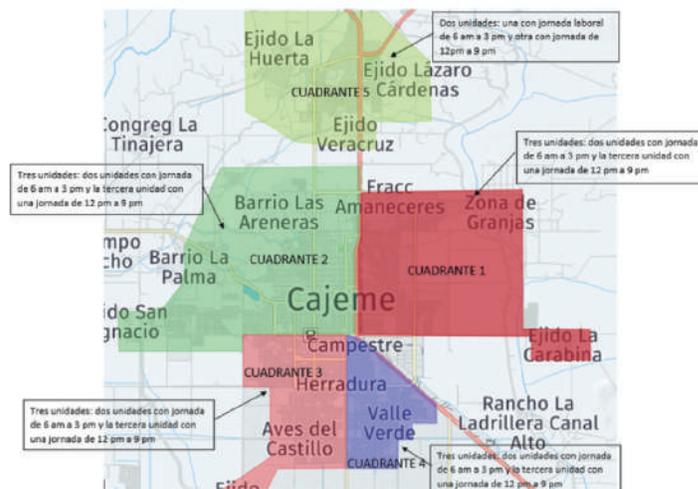
Indicador: % de participación			Vehículo	Carga Propuesta		Carga Optima	
Cuadrante	Tipo de cilindro	Ventas diarias		30 Kg	45 Kg	30 Kg	45 Kg
1	30	26	1	18	8	24	12
	45	7	2	20	8	24	12
2	30	69	3	16	8	24	12
			4	20	10	20	12
			5	24	10	24	12
	45	17	Apoyo 1	20	5	24	12
			Apoyo 2	10	4	24	12
3	30	58	6	16	8	24	10
			7	20	8	24	10
			8	15	8	24	12
	45	14	9	15	8	24	10
4	30	33	10	14	8	24	10
			11	18	8	24	10
	45	8	12	15	8	24	10
5	30	24	Apoyo 3	16	8	24	10
			13	20	8	30	10
	45	6	14	14	8	24	10

En la TABLA VI se puede observar lo que pertenece a la propuesta de mejora, lo cual se realizó con la finalidad de lograr una mejor estrategia en la entrega de cilindros, la información analizada fue pieza clave para poder identificar con una mayor exactitud cuál era una de las deficiencias que podía generar los grandes tiempos de entrega.

En este paso se realizará la propuesta de mejora, la cual fue elaborada con ayuda de información del sistema de pedidos, para la propuesta de se realizó una sectorización por cuadrantes, en el cual se busca la finalidad de romper barreras dentro de las zonas de trabajo, y que los tiempos de entrega disminuyan al implementar una nueva manera de entrega de cilindros. A continuación, en la Figura 3 se presentará la propuesta de los sectores.

Como se puede observar en la Fig. 2 un mapa con sectorización de cuadrantes, para la propuesta de sectorización fue necesario un análisis de la demanda de cada una de las colonias que corresponden a dicho cuadrante, con dicho análisis se puedo llegar a la

conclusión de cuál debería ser la cantidad de unidades que pudiera cubrir la demanda promedio diaria.



## V. CONCLUSIONES

La implementación de herramientas en procesos relacionados con el servicio y ligadas a una estrategia enfocada a cumplir un tiempo o un requisito de interés para el cliente cada día están tomando mayor importancia, debido a que se enfocan a identificar todo aquello que no agrega valor para el cliente. Las herramientas lean logistics se aplican en procesos para hacerlos más ágiles, procesos que fluyan y permitan tener un mayor control en el desarrollo de cada una de las actividades. En la empresa bajo estudio fue posible a través de su aplicación identificar aquellas áreas de oportunidad que no estaban permitiendo lograr cumplir el tiempo de entrega de 30 minutos, y así poder implementar acciones que puedan cumplirla.

Este proyecto contribuye a través de los resultados a la mejora de procesos en empresas de giro comercial, en donde la distribución está contribuyendo a atender los requisitos del cliente y que por sus características es cada vez más exigente, razón por la cual la información plasmada en reportes que contengan la información suficiente y necesaria para los tomadores de decisiones juega un rol importante para verificar e identificar todo aquello que está influyendo en la estrategia de la cadena de suministro.

## REFERENCIAS

- [1] Charlotta A. Sirén, Charlotta, Kohtamäki, Marko, Kuckertz, Andreas (2012). Exploration and exploitation strategies, profit performance, and the mediating role of strategic learning: Escaping the exploitation trap. <https://doi.org/10.1002/sej.1126>
- [2] Suárez Redondo, Eva María, Calvo-Mora Schmidt, Arturo, Roldán, José L., Periañez Cristobal, Rafael: Quantitative research on the EFQM excellence model: A systematic literature review (1991;2015). En: European Research on Management and Business Economics. 2017. Núm. 23. Pag. 147-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iedeen.2017.05.002>
- [3] Obara, P., Aduda, J., & Nyaoga, B., (2015). Does supply chain technology moderate the relationship between supply chain strategies and firm performance? Evidence from large-scale manufacturing firms in Kenya. *International Strategic Management Review*. Volume 3, Issues 1–2, , Pages 43-65.
- [4] Kazemi, F., Abolhassani, L., Azam, E., & Sayyad, P. (2018). Strategic planning for cultivation of fruit trees and shrubs in urban landscapes using the SWOT method: A case study for the city of Mashhad, Iran. *Land Use Policy*, 70, 1-9, doi: 10.1016/j.landusepol. 2017.10.006.
- [5] Schwedes, O., Riedel, V., & Dziekan, K. (2017). Project planning vs. strategic planning: Promoting a different perspective for sustainable transport policy in European r&D projects. *Case studies on Transport Policy*, 5, 31-37. Doi: 10.1016/j.cstp.2016.08.006.
- [6] Hu, L., & Strohhecker, J. (2017) Strategy map concepts in a balanced scored cockpit improve performance. *European Journal of Operational Research*, 258, 664-676. Doi: 10.106&j/j.ejor.2016.09026.
- [7] Ballou, R. H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=ii5xqLQ5VLgC&pgis=1>
- [8] Arbones Malisani, E. A. (2007). *Serie Productica: Logística Empresarial*. Marcombo.
- [9] Jones, D., Hines, P., & Rich, N. (1997). Lean Logistics. *International Journal of physical distribution & logistics management*. 27(3/4). 153-173.
- [10] Harrision, A. Remko, V. (2011) *Logistics Management and Strategy*, 4th edn, Pearson.
- [11] Martichenko, R. *LEAN LOGISTICS-UNDERSTANDING*. (2011). *Logistics & Supply Chain Management Consulting*.
- [12] Marco, J. (2015). Las claves del éxito del Lean Logistics. Recuperado de: <https://blogs.imf-formacion.com/blog/corporativo/prl/las-claves-del-exito-del-leanlogistics/>
- [13] Baudin, M. (2006). *Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*. Doi: 10.1080/07408170600684165
- [14] Socconini, L. (2008). *Lean Manufacturing Paso a Paso*. Mexico: Norma.

# Sustentabilidad en la gestión de la cadena de suministro

Laura Beatriz Bernal Barbosa  
Estudiante de Maestría en Gestión Org.  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México  
laura.bernal83655@potros.itson.edu.mx

Alejandro Arellano González  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México  
aarellanog@gmail.com

Blanca Carballo Mendivil  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México  
bcarballom@gmail.com

---

*Resumen—En la actualidad, existen diversos factores que afectan a las organizaciones en varios sentidos, la globalización, los avances tecnológicos y un ambiente de incertidumbre se ven reflejados en el desempeño económico de las empresas, así mismo, problemas de contaminación ambiental, desigualdad social y pobreza persisten a nivel mundial cobrando interés tanto para la sociedad como en el ámbito empresarial. A este respecto, las empresas asumen un compromiso económico, social y ambiental para desarrollar sus procesos y actividades de manera sustentable, como la integración de la gestión de la cadena de suministro a la sustentabilidad. El presente ensayo tuvo como propósito recopilar información científica para proporcionar argumentos válidos que promuevan la incorporación de la sustentabilidad en la cadena de suministro de las organizaciones. Las principales ventajas identificadas como resultado de su aplicación es una oportunidad para mejorar el desempeño económico, fortalecer vínculos con los grupos de interés con los que interactúa, establecer ventajas competitivas sostenibles, elevar el valor de la marca, lograr la fidelidad del cliente, así como incrementar el prestigio de la empresa a la par de contribuir al desarrollo económico, social y ambiental de la región en donde operan. En el presente trabajo, también se analizan las dimensiones social, económica y ambiental y se ofrecen algunos ejemplos de corporaciones que han aplicado modelos sustentables a la gestión de la cadena de suministro. Por último, cabe señalar que, de acuerdo a la revisión de literatura, se aprecia un incremento en el número de organizaciones que emplean una gestión de la cadena de suministro sustentable en cumplimiento de las demandas sociales y para mejorar el aspecto económico de las mismas*

*Palabras Clave: gestión de la cadena de suministro; cadena de suministro sustentable; sustentabilidad; gestión sostenible*

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las organizaciones se enfrentan a grandes retos como la globalización, los avances tecnológicos, así como factores del entorno políticos, económicos y sociales a nivel mundial [1] [2], en este panorama dinámico y cambiante las empresas compiten diariamente por encontrarse en las preferencias del consumidor. Aunado a esto, los problemas de salud, calentamiento global, pobreza, contaminación y deterioro del medio ambiente son temas que han cobrado relevancia para la sociedad en general como para las empresas en las últimas décadas [3] [4].

Ante la creciente competencia a nivel mundial, así como la incertidumbre a la que se enfrentan las organizaciones es importante contar con ventajas competitivas que le permitan posicionarse en el mercado y permanecer en él a largo plazo [5], así mismo, dadas las presiones de los gobiernos, proveedores, asociaciones civiles, accionistas, consumidores, al igual que la comunidad, por responder ante los impactos derivados de las operaciones de las empresas respecto a los aspectos económicos, sociales y medio ambientales, resulta conveniente incorporar planes, estrategias y acciones sustentables en sus procesos.

Es por ello que, en cumplimiento con las demandas sociales para contribuir al desarrollo sustentable, van en incremento las organizaciones que han adoptado este modelo en la Gestión de la cadena de suministro, para la innovación de productos, desarrollo de tecnologías, así como la incorporación de todas las actividades encaminadas a la transformación, distribución o recolección de los mismos, tanto de la misma organización como de sus compañías afiliadas o interrelacionadas asegurando de esta manera su competitividad a largo plazo y mejorando su desempeño [6] [7].

El propósito de este ensayo consiste en ofrecer información teórica recopilada de artículos científicos que proporcione argumentos válidos acerca de la incorporación de la sustentabilidad en la cadena de suministro de las organizaciones. Después de este apartado de introducción, se seguirá la siguiente

estructura: primeramente, se describirá en qué consiste la sustentabilidad y la relación con la Gestión de la cadena de suministro, enseguida se hará una distinción de las principales características entre la cadena de suministro convencional y sustentable, para posteriormente, explicar las dimensiones económica, social y ambiental en la Gestión de la cadena de suministro, después de esto se abordarán algunos modelos teóricos y prácticos en la Gestión de la cadena de suministro sustentable y para finalizar se presentarán algunas reflexiones a manera de conclusión.

## II. DESARROLLO

La revisión de literatura indica que el tema de la sustentabilidad comenzó a tomar fuerza en la década de 1980 cuando se empezaron a detectar los efectos secundarios provocados por el desarrollo económico descuidando la parte ambiental y social. Para tratar de revertir este impacto negativo los países en conjunto con la comunidad científica, las empresas y la sociedad establecieron alianzas con el fin de proporcionar soluciones en contra de los problemas relativos a la pobreza, salud, desigualdad social y contaminación a nivel mundial [3]. A este respecto, en el año de 1987 se publicó el informe Brundlant por las Naciones Unidas con el objetivo de formular estrategias para resolver la problemática anteriormente mencionada que llevaran a un desarrollo económico a la par de la preservación del medio ambiente y beneficio para la sociedad World Comission on Environment and Development [8].

A partir de este momento la WCED da a conocer el término de desarrollo sustentable el cual se define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”. Así mismo, alrededor de esta perspectiva [9] planteó que las empresas no sólo deben perseguir el beneficio económico por lo que propuso el modelo de la triple cuenta de resultados mismo que contempla los tres aspectos de la sustentabilidad: económico, social y ecológico. De esta manera, en el ámbito organizacional comienza a implementarse la sustentabilidad en sus procesos y la toma de decisiones en respuesta a las regulaciones gubernamentales y presiones de los diversos grupos de interés.

A su vez, en paralelo al objetivo organizacional de llevar a cabo actividades que contribuyan a la sustentabilidad, se intenta alinear la cadena de suministro a esta filosofía. Una cadena de suministro [10] es una red de organizaciones interconectadas donde participan proveedores de materia prima y materiales, productores, empresas de almacenamiento, otras de distribución para finalmente llegar al consumidor final. La Gestión de la cadena de suministro sustentable (GCSS) consiste en incorporar a todos los eslabones que conforman la cadena para que desarrollen planes, políticas y acciones que permitan mejorar el rendimiento económico y a su vez minimizar el impacto negativo al medio ambiente en sus procesos, así como cuidar el bienestar del personal y del consumidor ofreciendo productos o servicios que cumplan con los tres aspectos.

En la opinión de Ha-Brookshire [11] lo ideal sería que todos los miembros de la cadena de suministro se involucren para que se pueda considerar sustentable, tanto empleados como empresas deben seguir las normas por convicción propia y apegarse a las políticas sustentables. Adicional a esto, Kim y su equipo [12] afirman que la cadena de suministro debe contar con estrategias, tácticas y tecnología innovadoras y sustentables. Para ilustrar lo anterior se presenta la figura 1.

Ahora bien, la diferencia entre la cadena suministro convencional y una sustentable es que, por un lado, la GCSS implica cumplir con las exigencias de los diversos grupos de interés, pero también proporciona beneficios a la organización. Existen diversas razones para integrar la sustentabilidad en los procesos las cuales pueden variar de una organización a otra [13], la mayoría de la literatura consultada coincide que el principal motivador es el de mejorar el desempeño económico de la cadena minimizando los costos y maximizando las utilidades [14] [15] [16], otra causa está orientada a cumplir con las demandas o requisitos de las partes interesadas con las que se relaciona así como desarrollar vínculos que fortalezcan las operaciones entre clientes, proveedores, competencia, gobierno y asociaciones civiles [17] [18] [19], a su vez, se puede llevar a cabo

como objetivo estratégico con el fin de obtener ventajas competitivas que le garanticen a la organización una permanencia a largo plazo [20] [21] [22] y por último, no está de más señalar que al integrar los procesos al enfoque sustentable se incrementa la imagen de marca y se mejora la reputación corporativa elevando la confianza en sus productos o servicios y los múltiples beneficios económicos que conlleva para la empresa [23].

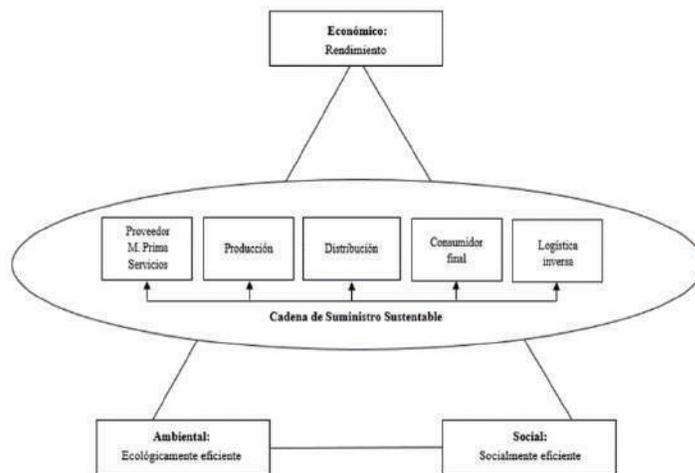


Figura 2. Cadena de suministro sustentable adaptada al español de Kim et al. [12]

Como resultado de la aplicación de prácticas sustentables a la cadena de suministro “convencional” se pueden observar ciertas diferencias especialmente cuando se trata de obtener un mejor desempeño económico, por ejemplo, Kim y sus colegas [12] señalan que en una Cadena de suministro tradicional las decisiones que se toman se centran en la maximización de las utilidades y minimizar costos, mientras que en una sustentable se diseñan estrategias para obtener mayores utilidades sin afectar la parte ambiental y social en todas las áreas (planeación, producción, distribución).

En la misma línea, Beske y Seuring [21] identificaron cinco categorías para diferenciar una cadena de suministro sustentable de una convencional: orientación, continuidad, colaboración, gestión de riesgos y proactividad.

En lo referente a orientación la GCSS realiza sus actividades y procesos mediante un balance entre lo

económico, social y ecológico por el contrario a una tradicional cuyo enfoque se dirige a obtener mayor desempeño cumpliendo solo con lo estipulado por las leyes.

El parámetro de continuidad en la GCSS abarca el involucramiento de todos los miembros de la cadena en cuanto al desarrollo de prácticas, seleccionar solo participantes alineados al modelo y fomentar vínculos a largo plazo mientras que una tradicional considera el aspecto de desarrollo y construcción de relaciones a largo plazo con un fin instrumental.

Asimismo, en la GCSS existe una colaboración orientada a fortalecer los canales de comunicación, integración logística y tecnológica con el objeto de mejorar el desempeño sustentable, mientras que una tradicional se deja en segundo término.

En cuanto a gestión de riesgos ambas perspectivas buscan cumplir con los estándares y certificaciones legales y responden a las exigencias de los grupos de interés a diferencia de que la GCSS se encuentra en constante monitoreo para que los integrantes cumplan con las políticas sustentables.

Por último, la proactividad va encaminada al aprendizaje y la innovación de procesos sustentables donde a diferencia de la cadena convencional una GCSS realiza evaluaciones a sus proveedores y trata de involucrar a todos los grupos de interés en las prácticas sustentables.

Por otra parte, gran parte de las investigaciones realizadas respecto a la GCSS se apoya en las dimensiones económica, social y ambiental propuestas por el modelo de la triple cuenta de resultados. En este sentido, tomando en cuenta que estos tres aspectos son fundamentales para el diseño de nuevos modelos tanto teóricos como prácticos que surgen a partir de estas dimensiones se considera apropiado explicar en qué consiste cada una de ellas.

La dimensión ambiental se puede entender como las prácticas encaminadas a la conservación de los recursos naturales, preservar el entorno mediante la innovación de productos o servicios, procesos o

tecnologías ecológicamente amigables, reducción de desechos industriales, disminución de agentes contaminantes aplicables a lo largo de la cadena incluyendo los procesos de fabricación, distribución, empaque y logística inversa incluso se habla de involucrar al cliente orientándolo hacia el consumo de productos y servicios sustentables [24].

A su vez, en la dimensión social se pueden encontrar los aspectos relacionados al comportamiento ético, derechos humanos y el bienestar social simultáneamente para empleados y comunidad en general [24] en esta categoría se contemplan la satisfacción del consumidor, cuidar las relaciones de todas las partes interesadas, el bienestar de la comunidad, aspectos filantrópicos, cuidado de la salud, cumplimiento de condiciones laborales y equidad laboral [22].

Finalmente, la dimensión económica se enfoca a medir el desempeño financiero obtenido a través de la aplicación de prácticas operacionales sustentables en la cadena de suministro, tales como utilidad, desempeño operacional, eficiencia y efectividad de procesos al igual que oportunidades de negocios [25]. Por lo anterior, la organización al cumplir con estos tres aspectos está ofreciendo al consumidor final un producto o servicio sustentable ya que todos los integrantes a lo largo de la cadena desde la materia prima, los procesos de fabricación, actividades de distribución y manejo de desechos cumplen con las leyes de cada país y más allá de ellas, contribuyendo a la disminución de agentes contaminantes del ambiente, socialmente se busca el bienestar del trabajador proporcionando buenas condiciones laborales, aportando a la eliminación del trabajo infantil, y a su vez, cooperando con el desarrollo económico de la región en la que se encuentra.

Respecto a los Modelos y prácticas relativos a la gestión de la cadena de suministro sustentable (GCSS) si bien es cierto que en el ámbito académico se ha abordado este tópico ampliamente, en el campo organizacional existen también múltiples empresas que lo han llevado a la práctica. Grandes corporativos como Wal-Mart, Nike, IKEA, Boeing, CISCO, Siemens, Nestlé, Herman Miller, Dell entre

otros han integrado prácticas sustentables en la cadena de suministro con resultados financieros positivos [26]. Así mismo, Wang y Dai [27] por medio de su estudio a 172 organizaciones en China evaluaron el impacto de la GCSS en tres dimensiones: económico, social y ecológico encontrando resultados positivos en la aplicación de prácticas en cuanto al desempeño ambiental y social los cuales se encuentran ligados al desempeño económico.

De igual forma, en el Reino unido, grandes empresas con la finalidad de disminuir las emisiones de gases de carbono han desarrollado estrategias para mitigar estos efectos integrando procesos sustentables en la cadena de suministro alimenticia, los resultados indican que las relaciones de los integrantes de la cadena de suministro son importantes para la aplicación de la sustentabilidad dado el grado de compromiso en la realización de las actividades y la selección de proveedores que compartan la filosofía [28]. Por otro lado, en la India se realizó un estudio comparativo para medir la implementación de la GCSS en diversos sectores manufactureros como el automotriz, electrónico y textil, al tratarse de una economía en desarrollo aún se encuentra en distintos niveles de activación siendo el sector electrónico el más avanzado, seguido del sector automotriz y el textil [29].

Por otra parte, haciendo una revisión no exhaustiva de artículos recientes, resalta una gran variedad de modelos y procedimientos basados en una o varias dimensiones sustentables referentes a la Gestión de la cadena de suministro. Por ejemplo, Wang y Gunasekaran [10] proponen un modelo que considera el impacto del entorno en la GCSS ya que estiman que el dinamismo en el que opera afecta directamente en el desempeño por lo cual se apoyan en tres parámetros: capacidad de producción, costo ecológico y nivel de demanda. Su diseño se basa en una cadena de suministro básica, donde en el eslabón de proveedores de materia prima se incluyen actividades sustentables como compras sustentables y reducir el uso de materiales contaminantes; en el eslabón de producción o manufactura se propone disminuir el consumo de energía, la utilización de tecnologías limpias y la reducción de desechos de producción; en cuanto a la distribución se considera la

logística inversa y, por último, se plantea considerar el fin de la vida útil del producto aplicando el reciclaje y el reúso.

De la misma forma, Patidar y sus colegas diseñaron un modelo sustentable [30] basado en las fortalezas y debilidades de la cadena de suministro en el sector agrícola de la India, el cual se apoya en las tres dimensiones de la sustentabilidad, en cuanto a la dimensión económica mide la calidad del producto o servicio, la satisfacción del cliente, que sea eficiente en cuanto a la reducción de los costos de distribución, almacenamiento, salarios, costos de transacción, tiempos de entrega; la dimensión ambiental vigila los aspectos de disminución de contaminantes, utilización de tecnología verde para minimizar daños, disminución de pesticidas, utilización de agroquímicos ecológicamente amigables, cuidado del agua, reducción de desechos, reciclaje, elaboración de subproductos a partir de desechos orgánicos; y la dimensión social cuida el cumplimiento de los parámetros de seguridad del producto para el consumidor, trazabilidad del mismo, así como la generación de empleo, óptimas condiciones laborales, entrenamiento y seguridad laboral.

Por su parte, Low y sus colegas [31] plantearon un modelo basado en la dimensión ambiental para una industria farmacéutica global cuya cadena de suministro incluye los procesos de compra de materiales, fabricación y distribución. El modelo tiene el objetivo de reducir tiempos de entrega, costos y huella de carbono (emisión de gases), los pasos del modelo inician con la recolección de información de proveedores potenciales donde aparte de obtener información respecto a los componentes químicos de los materiales se hace una tabla para comparar la emisión de gases asociada a cada material, en esta misma etapa se evalúan distancias, tipos de embarque y transportación para determinar costos, posteriormente, después de hacer una evaluación se seleccionan los proveedores utilizando criterios de rendimiento, mínimos riesgos, reducción de costos así como el factor ambiental teniendo en cuenta que cumplan con las regulaciones legales y en el factor social asegurándose que la fuerza laboral mantenga condiciones adecuadas de seguridad y salud. Un último

paso consiste en establecer una red de suministro desde la materia prima hasta el consumidor final y evaluar conforme a las métricas de costo, tiempos de entrega y emisión de gases la sustentabilidad de la cadena.

De manera semejante, Cogollo y Ruiz [32] proponen una metodología para la implementación de prácticas sustentables en cadenas de suministro construida a partir de aportaciones teóricas tomadas de la literatura la cual consiste en evaluar a las partes interesadas con el fin de seleccionar aquellos integrantes que apliquen prácticas sustentables en sus procesos, establecer estrategias de comunicación y gestión de tal manera que los miembros de la cadena permanezcan alineados al modelo y por último implementar políticas y prácticas de común acuerdo con las partes interesadas, dar un seguimiento a los mismos y finalmente evaluar la sustentabilidad del modelo con el fin de mejorar las prácticas en todos los eslabones de la cadena.

En general, de acuerdo a la literatura consultada, se detecta que la mayoría de los modelos planteados en el ámbito organizacional en primera instancia se orientan al desarrollo de políticas y prácticas medio ambientales, en segundo término, los modelos se enfocan a dar cumplimiento a las cuestiones legales referentes a la mano de obra, así como cuidar la inocuidad alimentaria del consumidor y en ambas dimensiones el plus de la GCSS consta de obtener un beneficio económico para la empresa al realizar este tipo de actividades.

### III. CONCLUSIÓN

El papel que desempeñan las organizaciones en la sustentabilidad global es muy importante ya que las políticas y prácticas aplicadas a los procesos y actividades operacionales como lo es la Gestión de la cadena de suministro representa una contribución para mitigar el deterioro ambiental, así como aportar al desarrollo económico y social de los países donde operan. Este ensayo tuvo como propósito ofrecer información teórica recopilada de artículos científicos que proporcionaran argumentos válidos acerca de la incorporación de la sustentabilidad en la cadena de suministro de las organizaciones.

En este sentido, aplicar prácticas sustentables a la Gestión de la cadena de suministro consiste en incorporar a todos los eslabones a partir de la extracción de la materia prima, la etapa de producción, almacenamiento, comercialización, distribución, clientes y logística inversa considerando el aspecto de planeación, estratégico y operativo para que mantengan alineadas las actividades desde la etapa de selección de proveedores, estableciendo compras sustentables, innovando en procesos ecológicos, disminuyendo desechos y aprovechar desperdicios mediante el reciclaje y la reutilización de materiales, ir más allá de los requisitos legales en materia laboral, reducir la explotación del trabajo infantil, así como ofrecer al consumidor productos seguros y sustentables.

Para las empresas, la Gestión de la cadena de suministro sustentable es una oportunidad para mejorar el desempeño económico, fortalecer vínculos con los grupos de interés con los que interactúa, establecer ventajas competitivas sostenibles, elevar el valor de la marca, lograr la fidelidad del cliente, así como incrementar el prestigio de la empresa a la par de contribuir al desarrollo económico, social y ambiental de la región.

Existe gran variedad de modelos propuestos para convertir una cadena de suministro tradicional en sustentable, la mayoría de ellos se basan en las dimensiones ambiental, social y económica, sería conveniente para las organizaciones de cualquier tamaño adoptar prácticas y políticas sustentables en la cadena de suministro ya que los hace elegibles para participar en negociaciones con otras compañías a la vez que se contribuye globalmente a la sustentabilidad.

## REFERENCIAS

- [1] I. Guevara, "Educación superior e investigación para la competitividad productiva internacional", *Revista Latinoamericana de economía*, vol. 44, pp. 145-156, 2013. DOI: 10.1016/S0301-7036(13)71866-2
- [2] A. Dabat, J. Hernández, y C. Vega, "Capitalismo actual, crisis y cambio geopolítico global", *Economía UNAM*, vol. 12, pp. 62-89, 2013. DOI: 10.1016/j.eunam.2015.10.005
- [3] M. Saviano, S. Barile, J. Spohrer, and F. Caputo, "A service research contribution to the global challenge of sustainability", *Journal of service theory and practice*, vol. 27, pp. 951-976, 2017. <https://doi.org/10.1108/JSTP-10-2015-0228>
- [4] O. Kabadurmus, and M.S. Erdogan, "Sustainable, multimodal and reliable supply chain design", *Annals of operation research*, vol. 292, pp. 47-70, 2020. <https://doi-org.itson.idm.oclc.org/10.1007/s10479-020-03654-0>
- [5] M.E. Porter, "Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior", 1991. Editorial Rey Argentina.
- [6] P. Lacy, and R. Hayward, "A new era of sustainability in emerging markets? Insights from a global CEO study by the United Nations Global compact and accenture", *Corporate governance: the international journal of businessin society*, vol. 11, pp. 348-357, 2011. DOI 10.1108/1472070111159208
- [7] S. Orr, and A. Jadhav, "Creating a sustainable supply chain: the strategic foundation, *Journal of bussines strategy*. DOI 10.1108/JBS-11-2017-0157
- [8] World Comission on Environment and Development [WCED], *Our common future: Report of the World Commision on Environment and Development*, 1987. <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#1>
- [9] J. Elkington, "Enter the triple bottom line". <https://www.johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>
- [10] G. Wang, and A. Gunasekaran, "Modeling and analysis of sustainable supply chain dynamics", *Annals of operations research*, vol. 250, pp. 521-536, 2015. <https://link-springer-com.itson.idm.oclc.org/article/10.1007/s10479-015-1860-2>
- [11] J. Ha-Brookshire, "Toward moral responsibility theories of corporate sustainability and sustainable supply chain", *Journal of bussines ethics*, vol. 145, pp. 227-237, 2017. <https://link-springer-com.itson.idm.oclc.org/article/10.1007/s10551-015-2847-2>
- [12] K. Kim, B. Jeong, and H. Jung, "Supply chain surplus: comparing conventional and sustainable supply chains", *Flexible services and manufacturing journal*, vol. 26, pp. 5-23, 2014. <https://link-springer-com.itson.idm.oclc.org/article/10.1007/s10696-012-9163-2>
- [13] L.A. Swanson, and D.D. Zhang, "Perspectives on corporate reponsibility and sustainable development", *Management of environmental quality: an international journal*, vol. 23, pp. 630-639, 2012. DOI 10.1108/14777831211262918
- [14] J-Z. Wu, C.H. Santonso, and J. Roan, "Sustainable supply chain management practices and performance", *Industrial management & data systems*, vol. 118, pp. 2-21, 2018. <https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2016-0540>
- [15] R. Baliga, R.D. Raut, and S.S. Kamble, "Sustainable supply chain management practices and performance: an integrated perspective from a developing economy", *Management of enviromental quality*, vol. 31, pp. 1147-1182, 2019a. <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2019-0079>
- [16] R. Dubey, A. Gunasekaran, S.J. Childe, T. Papadopoulos, Z. Lou, and D. Roubaud, "Upstream supply chain visibility and complexity effect on focal company´s sustainable performance: Indian manufacturer´s perspective", *Annals of operation research*, vol. 290, pp. 343-367, 2020. <https://link-springer-com.itson.idm.oclc.org/article/10.1007/s10479-017-2544-x>
- [17] E. Hassini, C. Shurti, and C. Searcy, "A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics", *International journal of production economics*, vol. 140, pp. 69-82, 2012. doi:10.1016/j.ijpe.2012.01.042
- [18] D. O´Rourke, "The science of sustainable supply chains", *Science*, vol. 344, pp. 1124-1127, 2014. doi:10.1126/science.1248526
- [19] F. Aliakbari, N. Shafei, and L. Olfat, "Sustainable service supply chain practices (SSSCP´s): a framework development", *International journal of productivity and*

performance management, vol. 69, pp. 813-833, 2019. DOI 10.1108/IJPPM-09-2018-0314

[20] S. Gold, and P. Heikkurinen, "Corporate responsibility, supply chain management and strategy", *Journal of global responsibility*, vol. 4, pp. 276-291, 2013. <http://dx.doi.org/10.1108/JGR-10-2012-0025>

[21] P. Beske, and S. Seuring, "Putting sustainability into supply chain management", *Supply chain management: an international journal*, vol. 19, pp. 322-331, 2014. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0432>

[22] G. Kumar, and M. Goswami, "Sustainable supply chain performance, its practice and impact on barriers to collaboration", *International journal of productivity and performance management*, vol. 68, pp. 1434-1456, 2019. DOI 10.1108/IJPPM-12-2018-0425

[23] M. Arslanagic-Kalajdzic, and V. Zabkar, "Hold me responsible – the role of corporate social responsibility and corporate reputation for client- perceived value", *Corporate communications: an international journal*, vol. 22, pp. 209-219, 2017. <https://doi.org/10.1108/CCIJ-01-2016-0012>

[24] R. Baliga, R.D. Raut, and S.S. Kamble, "The effect of motivators, supply, and lean management on sustainable supply chain management practices and performance. Systematic literature review and modeling", *Benchmarking: an international journal*, vol. 27, pp. 347-381, 2019b. DOI 10.1108/BIJ-01-2019-0004

[25] H.E. Lu, A. Potter, V. Sánchez-Rodrigues, and H. Walker, "Exploring sustainable supply chain management: a social network perspective", *Supply chain management: an international journal*, vol. 23, pp. 257-277, 2018. <https://doi.org/10.1108/SCM-11-2016-0408>

[26] R. Dubey, A. Gunnasekaran, and S.J. Childe, "The design of a responsive sustainable supply chain network under uncertainty", *International journal of advanced manufacturing technology*, vol. 80, pp. 427-445, 2015. DOI 10.1007/s00170-015-6967-8

[27] J. Wang, and J. Dai, "Sustainable supply chain management practices and performance", *Industrial management & data systems*, vol. 118, pp. 2-21, 2018. <https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2016-0540>

[28] A. Touboulic, L. Mathews, and L. Marques, "On the road to carbon reduction in a food supply network: a complex

adaptive systems perspective", *Supply chain management: an international journal*, vol. 23, pp. 207-238, 2018. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2017-0214>

[29] D. Mathivathanan, K. Mathiyazhagan, K. Noorul Haq, and V. Kaippillil, "Comparative study on adoption of sustainable supply chain management practices in Indian manufacturing industries", *Journal of modelling in management*, vol. 14, pp. 1006-1022, 2019. <https://doi.org/10.1108/JM2-09-2018-0137>

[30] R. Patidar, S. Agrawal, and S. P. Sādhanā, "Development of novel strategies for designing sustainable Indian agri-fresh food supply chain", vol. 43, pp. 1-16, 2018. <https://rdcu.be/cjdFv>

[31] Y.S. Low, A. Adhitya, W. Chew, and P. Sharratt, "Systematic framework for design of environmentally sustainable pharmaceutical supply chain network", *Journal of pharmaceutical innovation*, vol. 11, pp. 250-263, 2016. <https://rdcu.be/cjdOp>

[32] J.M. Cogollo, and C. Ruiz, "Prácticas de responsabilidad sostenible de cadenas de suministro: revisión y propuesta", *Revista venezolana de gerencia*, vol. 24, pp. 668-683, 2019. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/290/29060499004/index.html>

# Layout optimization with material tour in open field

Victor Manuel Valdes Flores  
I.T. Saltillo  
Tecnológico Nacional de México  
vvaldes@itsaltillo.edu.mx

Ricardo Martinez Lopez  
I.T. Saltillo  
Tecnológico Nacional de México  
ricmartine@itsaltillo.edu.mx

Pedro Henoc Ireta Sanchez  
I.T. Saltillo  
Tecnológico Nacional de México  
pireta2976@gmail.com

Alan Tijerina de la Rosa  
I.T. Saltillo  
Tecnológico Nacional de México  
atijerina@itsaltillo.edu.mx

---

*Abstract—World class manufacturing is always looking to minimize their production costs. One of these costs is the material distribution on the production line. This article addresses a real problem of material handling of a chemical company through 14 reactors where each reactor has a specific demand. The case of study uses forklifts or hydraulic skate to move the material through the plant without a specific route resulting in a high cost for material handling because when the operator cannot satisfy the demand in one of the reactors, he has to return to warehouse to stock material and continue with the delivery. To solve the problem, we use the Travelling Salesman Problem (TSP) as a mathematical model to create a priority route that helps to make sub routes using two solution methods: Branch and Bound and Simulated Annealing. The results show that Branch and Bound works in finding the solution faster than the Simulated Annealing model.*

*Keywords—Layout; optimization; branch and bound; TSP and simulated annealing.*

## I. INTRODUCTION

A material path layout problem seeks to ensure the entry of material in the appropriate locations by handling the materials and can be transported by belt, roller wheel, automated vehicle (robot), forklifts and skates hydraulic[1].

Two dependent design issues are considered: facility design and equipment selection. Many types of layouts exist for example the layout of a row, multiple rows, double row, parallel row order, loop open field, and multi-floor [2].

One of the objectives of the layout problem is the minimization of routes, the cost of handling materials and the distribution of fixed-dimensional installations and unequal areas; therefore there is a need for the construction of mathematical models that represent and serve to solve exactly the problem of optimizing the material layout of open-field fixed areas that aims both to optimize the cost of handling materials between stations based on criteria independent of flows and costs between stations [3].

Some authors focus on the journey of materials to find the minimum distance between the routes that the forklifts have to make when collecting the goods from the areas and taking them to the dispatch meeting labor journeys and satisfying customer requests with the use of exact methods such as the Branch and Bound [4].

Metaheuristics are generally applied to problems that do not have an algorithm or heuristics specifies that provide a satisfactory solution; or when it is not possible to implement that optimal method. Most solution methods target optimization problems and apply to any problems that may be reformulated in heuristic terms [5].

The next approach is the use of Solution Methods such as Simulated Annealing where this process starts with a random estimate of the values of the variables of the cost function and allows to randomly modifying the values of the variables and involves best random variations [6].

To solve the material path layout problem, TSP is considered as set graphs whose edges are the possible paths that the entity can follow to visit all nodes, where the routes are searched and shorter sub routes for the best routes [7].

Also these methods are used for troubleshooting optimization problems that need to substantially improve the compute times for the solution of a specific application as well as the creation of the distance matrix to determine the costs of the materials and different types of vehicles to be used for fixed operations [8].

The objective of optimization is to propose and develop sets of sub-routes that allow the transfer capacity of materials and vehicles that optimize the best costs, taking into account distances in operations and vehicles to be used [9].

Below this document is organized as follows: Section 1 is motioned in the introduction, section 2 describes the mathematical model of the TSP, section 3 describes the Simplex Method, section 4 describes the Simulated Annealing algorithm, section 5 application, section 6 methodology, section 7 data collected, section 8 presents result, section 9 conclusion, section 10 future work and in 11 acknowledge and in section 12 bibliographic references.

## II. MATEMATIC MODEL APPLIED FOR THE CASE STUDY

The (TSP) is defined, given an integer  $n > 0$  and the distances are given by the matrix  $(d_{ij})$  of dimension  $n \times n$  where  $d_{ij}$  an integer is greater than or equal to zero. A tour is a journey that visits all cities exactly once; the problem is to find a route with minimum total length [10].

TSP consists of finding the shortest possible path among a variable number of villas or sites to visit and for which it should only be passed once, with the condition that at the end of the tour you must return to the point of origin. It has been shown that the complexity of the problem is  $n!$ [11].

The TSP has a single seller that customers must visit on a single route at minimum cost. There is usually no deposit (and if there is, it would not be distinguished from customers), there is no demand associated with customers and no temporary restrictions [12].

For all  $X_{ij}=0 \text{ ó } 1$ , for all  $U_i \geq 0$  and is set of clients.  
 $X_{ij}$ : Equals 1 if all clients are visited.  
 $C_{ij}$ : Is the cost to visit client  $i$  to client  $j$ .

The mathematical model is described below:

Subjetc:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in \Delta+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \Delta-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (4)$$

(1) Is the objective function that is to minimize the travel distance from customer  $i$  to customer  $j$ , (2) and (3) indicate that all customers should be visited and must be within a route and (4) indicates that no sub routes are allowed and the problem can formulate mathematically by full linear programming as mentioned [13].

When adding the vehicle capacity restriction, the case study can be seen as a VRP (Vehicle Routing Problem). To solve this problem it is necessary to take into account three elements: location of the warehouse to collect sacks and the load capacity of the vehicles.

### III. BRANCH AND BOUND

Branch and Bound's philosophy is to solve successive solutions to linear programming problems, initially solving the original problem by relaxing the integrity of their entire variables, that is, allowing integer variables to have real values [14].

If the problem has a complete solution across all variables, it means that the optimal global solution has been found. Otherwise, one of the non-integer

solution variables is randomly chosen and an iterative branching process is applied to find an integer value. The Branch and Bound algorithm is an accurate method for finding the solution to linear problems with whole and mixed solution [14].

Combinatorial optimization issues are about finding an optimal solution within a finite solution space. If the solution space is small, you can list all possible solutions, however, if the solution space is too long, the solution enumeration becomes more complicated. The Branch and Bound algorithm helps to find the optimal solution within the solution space. It can be represented as a tree whose root is the original problem, and each branch represents a division of solution space [15].

Each node in the tree is responsible for finding the optimal solution in the solution space. The nodes of the tree are pruned to find the solution, if the dimension is no better than the previously obtained solution, it is not necessary to explore that zone otherwise it must be done. The main feature is that this technique is responsible for detecting which branching the optimal solution is in and where the solutions found are moving away from the optimal solution [15]. There are numerous Branch and Bound strategies that solve the TSP problem. The cost of nodes is the distance of the path of a complete graph. The adjacency matrix and its given elements between two vertices is not necessarily symmetrical although it is symmetrical, although it is symmetrical with respect to its non-negative elements [16].

### IV. SIMULATED ANNEALING

It is metaheuristics bioinspired in the smelting of metals, it was proposed by Kirkpatrick 1983 and Cerny in 1985 [17]. Most metaheuristics target combinatorial optimization issues and can be applied to any reformulated problem [5].

Simulated Annealing is an optimization method inspired by the metal tempering process. The metal tempering process consists of three phases: a heating phase at a given temperature; in the second phase the

high temperature is held which allows the molecules to settle in states of minimum energy and follows a controlled confrontation phase to increase the size of their crystals and reduce their defects applies to optimization problems (TSP) with a relatively large number of cities [18].

The algorithm works by mimicking the physical process by which a solid is slowly cooled, until eventually its molecular structure is frozen, and it passes to a minimum energy configuration. The algorithmic version of this initial process with a random estimate of the values of the variables of the cost function [6].

Simulated Annealing (SA) is an iterative method that starts with a certain sstate. Using a particular process generates a neighbor state s' to the current state. If the power or evaluation of s' is less than that of the s state, the s state is changed to s^'.if the evaluation of s^' is greater than that of s then it can be worsened by choosing s' instead of s with a certain probability that depends on the differences of the evaluations  $\Delta f = f(s) - f(s')$  and the current temperature of the T system mentioned in equation (5) [18].

$$P(\Delta f, T) = e^{\Delta f / T} \quad (5)$$

In thermal equilibrium, that is, after the material has been at a constant temperature for a sufficiently long time, the probability that the material is in the state u with energy  $E_u$  at temperature T is where the sum extends over all possible states, the equation (6) Boltzmann Probability [18] is presented.

$$P_T \{X = u\} = \frac{\exp\left(-\frac{E_u}{k_B T}\right)}{\sum_v \exp\left(-\frac{E_v}{k_B T}\right)} \quad (6)$$

## V. APPLICATION

This section shows the case study location and the reason for optimizing layout paths. The case study presents a design of layout in a chemical company that is located in the city of Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza and where a continuous operation is carried out within the same process which the material is

moving in different reactors chemicals and material shipping routes are not properly established by making this a journey in question of customer requirements.

It is important to highlight the reason for working in this case study is to generate sub routes through an a priori route to calculate the cost of transporting materials that there are no established registrars and waste of time, improper use of materials. A way of transporting sacks of material to each reactor with the use of a forklift and a hydraulic skid is shown below in Figure 1.

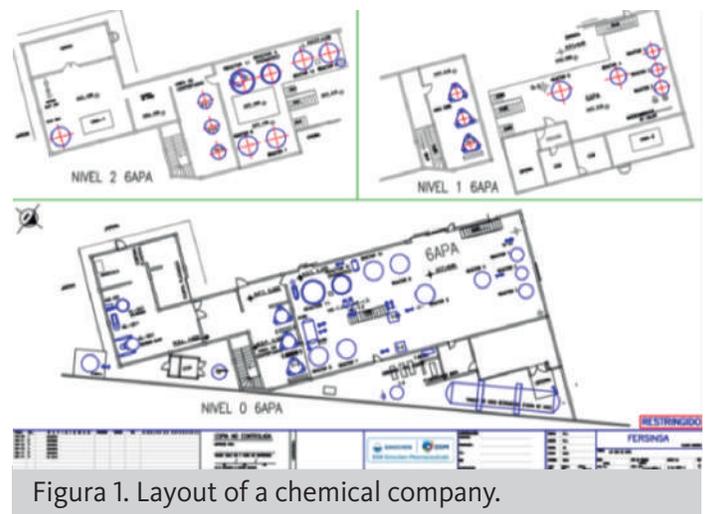


Figura 1. Layout of a chemical company.

## VI. METHODOLOGY

This selection explains the information needed to the case study and the ways of working for the research are: Collection, Data Analysis, Creation, Validation, Selection and Implementation. Because it is an essential part of solving the problem raised each of them is explained below and a diagram of the methodology is shown in Figure 2.

### a) Collection

Location of chemical reactors: To obtain the distance matrix between each reactor.

Demand for reactors for material routes: Each of the reactors have different chemical sacks loading needs because of the size of each of them since some reactors are larger than others and require more sacks to produce.

Vehicle load capacity when transporting materials: As a restriction to perform the solution algorithm since the sum of the demand for the material routes for each reactor may not be greater than load capacity.

Vehicles for material routes: They are represented as another restriction of the Solution algorithm. Identify the difference in vehicle efficiency by using a forklift to traverse the layout and a hydraulic skid to navigate the same layout of the chemical company.

b) Analysis

Data analysis: Distances and capacity of the 14 reactors and the warehouse to create the symmetrical distance matrix of the design of a chemical company's layout in order to generate an a priori route with the help of solution methods.

c) Creation

Creation of the a priori route: As the basis of the mathematical model of equation (4) the route will be obtained by minimizing the total distances of the routes. The x value will be the distance between the reactors of the a priori route of the distance matrix in equation (7) an in equation (8) distance between reactors.

$$y_0 = [0, y_1, y_2, y_3, \dots, y_{14}, 0] \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{14} X_{i,(i+1)} \quad (8)$$

Create sub route and distance: Each reactor has its own demand for materials; the sum of the demands of the chemical reactors visited on the route is a priori greater than the load capacity of the forklift and the hydraulic skid, which will return to the warehouse to reload chemical sacks and follow the route where the reactor was left unattended. The re-reload generates a sub routes called  $X_g$  where  $g=\{1,2,\dots,n\}$  and will be named as the sub routes number  $X=1$ .

$n$ = number of reactors in the sub routes.  
Every sub routes must start in the warehouse.

$X$ =the distance between the reactor and reactor of the distance matrix.

d) Validation

Validate sub route: Accept sub routes that meet the results of optimization models. When they are valid, the other paths of the results obtained from the proposed algorithms are checked.

e) Selection

Select the best route: Choose the best algorithm that minimizes the total path of sub routes obtained from the layout.

f) Implementation

Implement tour: It shows how to perform the best journey of Branch and Bound results as well as Simulated Annealing.

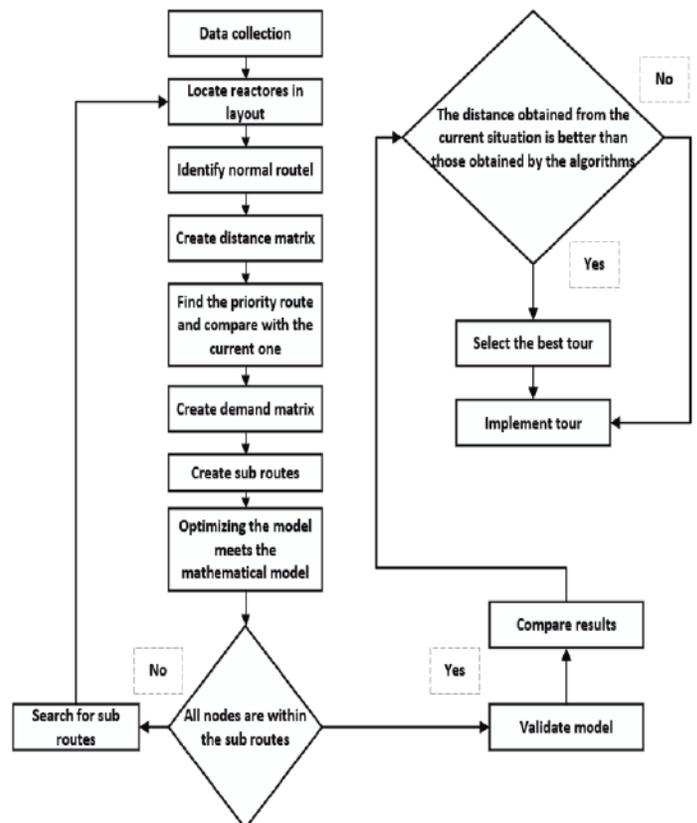


Figura 2. Methodology diagram.

VII. DATA COLLECTED

For each reactor you have different capacities as sizes range from large reactors to small reactors whose quantity is essentially defined by the size of the reactor. The material travel of 14 reactors and a material warehouse with capacity of the forklift of 120 sacks and the hydraulic skate 70 sacks, data to be worked in Table I.

TABLE I. DEMANDS AND REACTOR CAPABILITIES

Chemical reactor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Demand for sacks for each reactor	30	40	28	31	32	15	28	13	29	40	12	18	22	17
Forklift capacity	120													
Hydraulic skate capacity	70													

Figure 3 shows 14 reactors and warehouses identified by different colors to distribute sacks with a certain chemical and are found by coordinates in x and y the closest to the actual distances but which do not affect the result obtained.

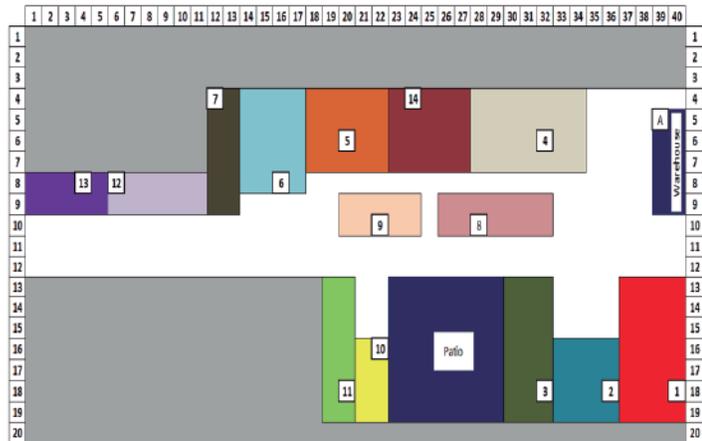


Figura 3. Reactor layout of a chemical company.

In Table II table x and y of each reactor including the warehouse using Figure 3 to identify the distances of each reactor for forklift and hydraulic skid paths.

The distances of two points in equation (9) are observed and the distance matrix is obtained by obtaining the distances of all the routes in Table III.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (9)$$

TABLE II. REACTOR AND WAREHOUSE COORDINATES

Coordinates	X	Y
Warehouse	39	5
Reactor 1	40	18
Reactor 2	36	18
Reactor 3	32	18
Reactor 4	32	6
Reactor 5	20	6
Reactor 6	16	8
Reactor 7	12	4
Reactor 8	28	10
Reactor 9	22	10
Reactor 10	22	16
Reactor 11	20	18
Reactor 12	6	8
Reactor 13	4	8
Reactor 14	24	4

TABLE III. PATH OF REACTOR MATERIALS AND WAREHOUSE

		Travel table														
<i>dij</i>	A	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	
0	A	100	13	13	15	7	19	23	27	12	18	20	23	33	35	15
1	R1	13	100	4	8	14	23	26	31	14	20	18	20	35	37	21
2	R2	13	4	100	4	13	20	22	28	11	16	14	16	32	34	18
3	R3	15	8	4	100	12	17	19	24	9	13	10	12	28	30	16
4	R4	7	14	13	12	100	12	16	20	6	11	14	17	26	28	8
5	R5	19	23	20	17	12	100	4	8	9	4	10	12	14	16	4
6	R6	23	26	22	19	16	4	100	6	12	6	10	11	10	12	9
7	R7	27	31	28	24	20	8	6	100	17	12	16	16	7	9	12
8	R8	12	14	11	9	6	9	12	17	100	6	8	11	22	24	7
9	R9	18	20	16	13	11	4	6	12	6	100	6	8	16	18	6
10	R10	20	18	14	10	14	10	10	16	8	6	100	3	18	20	12
11	R11	23	20	16	12	17	12	11	16	11	8	3	100	17	19	15
12	R12	33	35	32	28	26	14	10	7	22	16	18	17	100	2	18
13	R13	35	37	34	30	28	16	12	9	24	18	20	19	2	100	20
14	R14	15	21	18	16	8	4	9	12	7	6	12	15	18	20	100

To create the symmetrical distance matrix of the case study, the quantities of chemical sacks of the chemical reactors were considered the distances from one reactor to another taking into account the 14 reactors and the warehouse in Table IV.

TABLE IV. DISTANCE MATRIX

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Warehouse	13	13	15	7	19	23	27	12	18	20	23	33	35	15
R1	100	4	8	14	23	26	31	14	20	18	20	35	37	21
R2	4	100	4	13	20	22	28	11	16	14	16	32	34	18
R3	8	4	100	12	17	19	24	9	13	10	12	28	30	16
R4	14	13	12	100	12	16	20	6	11	14	17	26	28	8
R5	23	20	17	12	100	4	8	9	4	10	12	14	16	4
R6	26	22	19	26	4	100	6	12	6	10	11	10	12	9
R7	31	28	24	20	8	6	100	17	12	16	16	7	9	12
R8	14	11	9	6	9	12	17	100	6	8	11	22	24	7
R9	20	16	13	11	4	6	12	6	100	6	8	16	18	6
R10	18	14	10	14	10	10	16	8	6	100	3	18	20	12
R11	20	16	12	17	12	11	16	11	8	3	100	17	19	15
R12	35	32	28	26	14	10	7	22	16	18	17	100	2	18
R13	37	34	30	28	16	12	9	24	18	20	19	2	100	20
R14	21	18	16	8	4	9	12	7	6	12	15	18	20	100

VIII. RESULTS

The route of the cargo vehicles was carried out with the Branch and Bound to obtain the route a priori minimizing the distances and capacities of the chemical reactors, the mathematical model was taken as the basis to minimize the distances of the materials for each chemical reactor in Table V.

TABLE V. A PRIORI ROUTE

	Warehouse															
Chemical reactor	0	1	2	3	10	11	9	14	5	6	7	13	12	8	4	0
Demand for sacks		30	40	28	40	12	29	17	32	15	28	22	18	13	31	

Material travel costs data have been taken for each of the reactors using the forklift and hydraulic skid to transport sacks costs and costs for each reactor is different for its Table VI load capacity.

TABLE VI. COST TABLE

Forklift		Hydraulic skate	
Route	Cost	Route	Cost
Warehouse	\$ -	Warehouse	\$ -
Reactor 1	\$ 21.00	Reactor 1	\$ 11.00
Reactor 2	\$ 22.00	Reactor 2	\$ 9.00
Reactor 3	\$ 27.00	Reactor 3	\$ 17.00
Reactor 4	\$ 15.00	Reactor 4	\$ 8.00
Reactor 5	\$ 18.00	Reactor 5	\$ 18.00
Reactor 6	\$ 19.00	Reactor 6	\$ 19.00
Reactor 7	\$ 25.00	Reactor 7	\$ 18.00
Reactor 8	\$ 16.00	Reactor 8	\$ 7.00
Reactor 9	\$ 10.00	Reactor 9	\$ 8.00
Reactor 10	\$ 13.00	Reactor 10	\$ 7.00
Reactor 11	\$ 12.00	Reactor 11	\$ 6.00
Reactor 12	\$ 22.00	Reactor 12	\$ 12.00
Reactor 13	\$ 22.00	Reactor 13	\$ 13.00
Reactor 14	\$ 18.00	Reactor 14	\$ 15.00
<b>Total</b>	<b>\$ 260.00</b>	<b>Total</b>	<b>\$ 168.00</b>

A. Branch and Bound

The equipment used for the experiment was Solver and the point marked are the distances selected with Branch and Bound as the a priori routes as a route a priori is: 0-1-2-3-10-11-9-14-5-6-7-13-12-8-4-0 including coordinates 0-1 and 4-0 of the start and end of the route where you pass through each of the selected routes starting at the warehouse and ending un in the warehouse with a total 113, Table VII is presented below.

To solve the material path layout problem, TSP is considered as set graphs whose edges are the possible paths that the entity can follow to visit all nodes, where the routes are searched and shorter sub routes for the best routes [7].

Also these methods are used for troubleshooting optimization problems that need to substantially improve the compute times for the solution of a specific application as well as the creation of the distance matrix to determine the costs of the materials and different types of vehicles to be used for fixed operations [8].

The objective of optimization is to propose and develop sets of sub-routes that allow the transfer capacity of materials and vehicles that optimize the best costs, taking into account distances in operations and vehicles to be used [9].

Below this document is organized as follows: Section 1 is motioned in the introduction, section 2 describes the mathematical model of the TSP, section 3 describes the Simplex Method, section 4 describes the Simulated Annealing algorithm, section 5 application, section 6 methodology, section 7 data collected, section 8 presents result, section 9 conclusion, section 10 future work and in 11 acknowledge and in section 12bibliographic references.

II. MATEMATIC MODEL APPLIED FOR THE CASE STUDY

The (TSP) is defined, given an integer  $n > 0$  and the distances are given by the matrix  $(d_{ij})$  of dimension  $n \times n$  where  $d_{ij}$  integer is greater than or equal to zero. A tour is a journey that visits all cities exactly once; the problem is to find a route with minimum total length [10].

TSP consists of finding the shortest possible path among a variable number of villas or sites to visit and for which it should only be passed once, with the condition that at the end of the tour you must return to the point of origin. It has been shown that the complexity of the problem is  $n!$ [11].

TABLE VII. DISTANCE FROM ROUTE A PRIORI

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Warehouse	13	13	15	7	19	23	27	12	18	20	23	33	35	15
R1	100	4	8	14	23	26	31	14	20	18	20	35	37	21
R2	4	100	4	13	20	22	28	11	16	14	16	32	34	18
R3	8	4	100	12	17	19	24	9	13	10	12	28	30	16
R4	14	13	12	100	12	16	20	6	11	14	17	26	28	8
R5	23	20	17	12	100	4	8	9	4	10	12	14	16	4
R6	26	22	19	26	4	100	6	12	6	10	11	10	12	9
R7	31	28	24	20	8	6	100	17	12	16	16	7	9	12
R8	14	11	9	6	9	12	17	100	6	8	11	22	24	7
R9	20	16	13	11	4	6	12	6	100	6	8	16	18	6
R10	18	14	10	14	10	10	16	8	6	100	3	18	20	12
R11	20	16	12	17	12	11	16	11	8	3	100	17	19	15
R12	35	32	28	26	14	10	7	22	16	18	17	100	2	18
R13	37	34	30	28	16	12	9	24	18	20	19	2	100	20
R14	21	18	16	8	4	9	12	7	6	12	15	18	20	100

Once the route has been obtained, a model is worked on to optimize the distribution routes of the aforementioned mathematical model using the TSP strategies to visit all reactors in the same order fixed with the service where the demand of the vehicle's capacity must always be met. The total routes and distances of the sub paths should be taken for all algorithms and the best algorithm should be selected that minimizes the total path of materials in general of the total of the sub paths worked. It Sub routes generated from the a priori route are presented starting and ending in the symmetric matrix in which both vehicles travel through each of the reactors and meet their demand, it is observed in Table VII.

TABLE VIII. SUB ROUTES AND DISTANCES

Forklift			Hydraulic skate		
Sub routes	Route	Distance	Sub routes	Route	Distance
1	0,1,2,3,0	98	1	0,1,2,0	70
2	0,10,11,4,9,14,0	98	2	0,3,10,0	68
3	0,5,6,7,13,12,0	115	3	0,11,9,14,0	58
4	0,8,4,0	49	4	0,5,6,0	47
		360	5	0,7,13,0	50
			6	0,12,8,4,0	62
					355

The forklift routes are a total 360 meters for the distance generating 4 sub routes and for the hydraulic skid 355 meters in distance generating 6 sub routes for a total route of the chemical reactor area of 113 meters on an a priori route.

B) Simulated Annealing

The parameters of this algorithm are temperature  $t_i=10,100,1000,10000$  and  $t_f=0.001$ . A random form improvement is generated according to the Metropolis algorithm with the use of Matlab software.

A route is created and divided according to the material load capacity of the transport vehicles to each reactor, i.e. if the vehicles go through the materials to meet the total demand of each reactor, if the route is less than the load of the forklift and hydraulic skid, continue with the route and find a reactor with demand for materials added to the total demand of the load capacity of the vehicles completed on the travel and return to the warehouse with the next reactor where it was last found and generate alternate routes. The data in Table 4 were used and the Simulated Annealing with Matlab software was used using the above temperature listed in Table IX, X, XI and XII showing the numbers of routes, routes, distances in meters and times using different start temperatures and the same final temperature for all tables.

TABLE IX. TEMPERATURE  $t_i=10$  AND  $t_f=0.001$

Number of sub routes	Route	Distance traveled meters	Total time in seconds
1	0 6 3 11 7 14 8 5 1 2 4 13 9 10 12 0	241.2006	11.90
2	0 14 13 4 6 11 8 9 12 3 7 10 1 2 5 0	225.4141	11.86
3	0 9 13 7 6 3 1 11 12 2 4 10 8 5 14 0	202.9653	11.36
4	0 12 8 11 1 6 4 14 9 3 13 10 5 7 2 0	263.2961	11.79
5	0 8 14 7 5 12 10 11 2 1 4 13 3 9 6 0	198.8953	12.42
Total Cost Forklifts	\$ 260	Total Cost Hydraulic Skate	\$ 168

TABLE X. TEMPERATURE  $T_i=100$  AND  $T_f=0.001$

Number of sub routes	Route	Distance traveled meters	Total time in seconds
1	0 12 10 4 6 9 7 8 1 3 13 11 2 5 14 0	241.6034	14.77
2	0 11 14 1 13 10 7 2 12 9 6 3 8 4 5 0	277.8681	14.75
3	0 5 10 14 12 9 4 7 8 6 13 2 11 1 3 0	240.3417	14.15
4	0 12 6 11 2 1 8 9 4 5 3 7 14 10 13 0	235.0186	14.28
5	0 7 10 6 12 11 13 8 5 2 3 1 9 14 4 0	177.3883	15.01
Total Cost Forklifts	\$ 260	Total Cost Hydraulic Skate	\$ 168

TABLE XI. TEMPERATURE  $t_i=1000$  AND  $t_f=0.001$

Number of sub routes	Route	Distance traveled meters	Total time in seconds
1	0 14 12 6 7 5 11 9 13 3 4 8 10 2 1 0	182.7155	17.11
2	0 6 12 4 5 10 13 7 8 1 9 2 11 3 14 0	211.0211	19.81
3	0 12 4 1 6 7 14 5 2 11 8 10 9 3 13 0	251.0376	17.02
4	0 8 14 10 5 13 9 2 3 4 7 1 6 11 12 0	230.0318	17.92
5	0 4 8 3 10 12 11 9 1 14 7 6 2 5 13 0	207.4411	16.71
<b>Total Cost Forklifts</b>	<b>\$ 260</b>	<b>Total Cost Hydraulic Skate</b>	<b>\$ 168</b>

TABLE XII. TEMPERATURE  $t_i=10000$  AND  $t_f=0.001$

Number of sub routes	Route	Distance traveled meters	Total time in seconds
1	0 1 5 4 8 3 9 2 13 6 10 14 7 12 11 0	205.0279	20.47
2	0 3 11 9 10 5 8 1 6 12 14 13 2 7 4 0	206.8167	19.61
3	0 13 9 1 4 12 5 2 8 10 14 3 6 7 11 0	240.672	19.84
4	0 1 12 2 5 4 8 6 7 3 14 13 10 9 11 0	249.5516	19.74
5	0 13 2 11 8 9 7 14 5 3 6 1 4 10 12 0	247.1421	20.64
<b>Total Cost Forklifts</b>	<b>\$ 260</b>	<b>Total Cost Hydraulic Skate</b>	<b>\$ 168</b>

TABLE XIII. SUB ROUTES WITH BRANCH AND BOUND

Forklifts			
Sub route	Route	Distance	Cost
S1	0 1 2 3 0	98	\$ 70
S2	0 10 11 4 9 14 0	98	\$ 78
S3	0 5 6 7 13 12 0	115	\$ 76
S4	0 8 4 0	49	\$ 31
<b>Total Tour:</b>		<b>360 Meter</b>	
<b>Total Cost:</b>		<b>\$ 255</b>	
Hydraulic Skate			
Sub route	Route	Distance	Cost
S1	0 1 2 0	70	\$ 19
S2	0 3 10 0	68	\$ 24
S3	0 11 9 14 0	58	\$ 27
S4	0 5 6 0	47	\$ 37
S5	0 7 13 0	50	\$ 31
S6	0 12 8 4 0	62	\$ 27
<b>Total Tour:</b>		<b>355 Meter</b>	
<b>Total Cost:</b>		<b>\$ 165</b>	

TABLE XIV. BEST SUB ROUTES WITH SIMULATED ANNEALING

Temperature	Sub routes	Route	Distance
$t_i=10$ y $t_f=0.001$	S1	0 8 14 7 5 12 10 11 2 1 4 13 3 9 6 0	198.8953
$t_i=100$ y $t_f=0.001$	S2	0 7 10 6 12 11 13 8 5 2 3 1 9 14 4 0	177.3883
$t_i=1000$ y $t_f=0.001$	S3	0 14 12 6 7 5 11 9 13 3 4 8 10 2 1 0	182.7155
$t_i=10000$ y $t_f=0.001$	S4	0 1 5 4 8 3 9 2 13 6 10 14 7 12 11 0	205.0279
<b>Total Cost Forklifts</b>	<b>\$ 260</b>	<b>Total Cost Hydraulic Skate</b>	<b>\$ 168</b>

The results of sub paths derived from the solution methods used in the collected data section are validated. This section walked through the routes obtained from the sub paths created from the case study as well as the solution methods to find the route a priori. The forklift route and hydraulic skid were used to chart the route of the routes by meters and other costs present the best sub paths of both methods in Tables XIII and XIV.

## IX. CONCLUSION

Therefore the reactors have their own demand, if the sum of the demand of the reactors that are visited on the route a priori is greater than the load capacity of the forklift and the hydraulic skid it will return to the warehouse to recharge and continue with the route to attend to the missing reactor and so on[13].

Four sub routes were generated for the forklift with a total travel of 360 meters and a total cost of \$255 pesos, for the hydraulic skate were generated 6 sub routes with a total travel of 355 meters and a cost of \$165 pesos using Branch and Bound.

For the temperatures of the Simulated Annealing, 5 sub routes of each of the initial temperatures are created where the total cost of using the forklift is \$260 pesos and the hydraulic skid is \$168 pesos where the best sub routes of each of which is covered by temperatures.

Both solution methods present different ways of resolving the case study where the costs of using material transport vehicles are similar in terms of distances if there is a small difference, it should be noted that both methods of solution are effective as they look for the optimal local within a target function and minimize the routes in an optimization problem note in Figure 4.

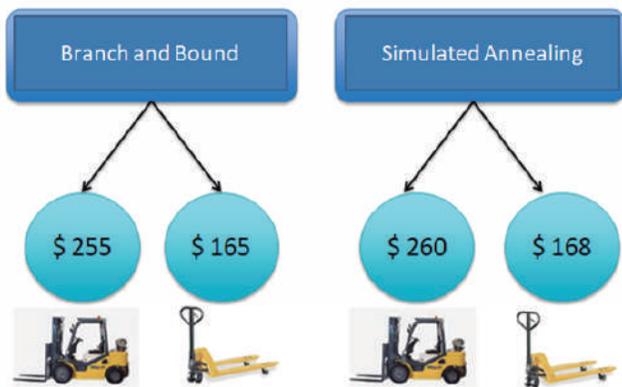


Figura 4. Branch and Bound result and Simulated Annealing.

## X. FUTURE WORK

As future work, it is proposed to apply other methods of solution. Using other metaheuristics such as Ant Colony, BRKGA and GRASP as well as a greater number of reactors, means of transporting materials and the use of simulation software to compare results and include restrictions to the problem to be solved.

## XI. ACKNOWLEDGE

We would like to thank the Instituto Tecnológico de Saltillo for providing us with its facilities, Dr. Ricardo

Martínez López, Dr Alan Tijerina de la Rosa and MII Pedro Henoc Ireta for their advice and comments.

## REFERENCES

- [1] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., & Tanchoco J.M.A. Facilities Planning. New York : Fourth ed., John Wiley & Sons, 2010.
- [2] Deive, O., & Pierreval. Indicators for measuring performances of morphology and materials handling systems. International Journal of Production Economics, 64(1-3) 209, 2000.
- [3] Alfredo D Moreno, Aldair A. Álvarez, Victor M. Noble & Jorge M. López. Optimización multiobjetivo del problema de distribución de planta: Un nuevo modelo matemático. Colombia, Ingeniería y competitividad, 2014.
- [4] Ríos, Laura Manotas Romero & Diana Ramírez. Desarrollo de un modelo heurístico para el manejo de material en estibas en una bodega. Colombia, 2012.
- [5] Blum, C., & Roli, A.A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. CM Computing Surveys 35(3) 268–308, 2003.
- [6] Araque, J.A. & Rodriguez, J.L.D. Optimización por recocido simulado de un convertidor multinivel monofásico con modulación pwm sinusoidal de múltiple portadora. 2017.
- [7] Oncar, T., Kuban, A., & Laporte, G. A comparative analysis of several asymmetric traveling salesman formulations. Computers and Operational Research. , 2016.
- [8] Robles, Carlos. Optimización por colonia de hormigas: aplicación y tendencias. En Revista Ingeniería Solidaria, vol. 6, núm. 10, pp. 83-89, 2010.
- [9] Mauricio, G., Rodriguez, L.A., & Ochoa, J.F. Modelos de Optimización de la Distribución de Planta. Bogotá Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014.
- [10] De los Cobos, S., Goddard, J., Gutiérrez, M. & Martínez, A. Búsqueda y Exploración Estocástica. México D.F. Universidad Autónoma Metropolitana, 2010.
- [11] Larson, R., & Odoni, A. Urban Operation Research. USA, New New Jersey Prentice –Hall, 1981.

[12] Daza, Julio Mario., & Montoya, Jairo R., & Narducci, Francesco. Resolución del problema de enrutamiento de vehiculaos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. Medellín Colombia, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2012.

[13] Clarke-Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operation Research, No. 12, 1964.

[14] Salazar, B. L. Diseño y layout de almacenes y centros de distribución. 2016.

[15] Mari. R, and Reinelt, G. The linear ording problem: Exact and Heuristics methods in combinatorial optimization, Berlin, Springer 2010.

[16] Capel, Manuel. Design and use of the CPAN Branch and Bound for the solution of the Travelling Salesman Problem (TSP). Granada, Spain. Universidad de Granada, 2005.

[17] Toro, E.M., Garcés, A., & Ruiz, H. Recocido Simulado. Colombia : Universidad de Pereira, 2014.

[18] Granada Echeverri, Mauricio, Gallego Rendón, Ramón Alfonso, Hincapié Isaza y Ricardo Alberto. Planeamiento de sistemas de distribución de energía eléctrica usando Branch and Bound . Bogotá, Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas , 2005. Ingeniería, vol. 10, núm. 2, 2005, pp. 44-5.

# Calidad seis sigma en los procesos productivos de las empresas del sur de Sinaloa, como estrategia competitiva en la creación de valor

María Guadalupe Velarde Rodríguez  
Unidad Académica en Ing. En Logística y transporte  
Universidad Politécnica de Sinaloa  
Mazatlán, Sinaloa, México  
mvelarde@upsin.edu.mx

Olga Karely Lizárraga Tisnado  
Unidad Académica en Ing. En Logística y transporte  
Universidad Politécnica de Sinaloa  
Mazatlán, Sinaloa, México  
2017030898@upsin.edu.mx

---

*Resumen— Seis sigma es una filosofía de clase mundial, considerada como estrategia fundamental en la Gestión de Calidad Total, ya que, a través de sus distintas metodologías, tales como DMAMC, Definir, medir, analizar, mejorar y controlar; facilita la comprensión de los procesos y el control de la variabilidad, mediante la identificación y reducción de las actividades que no agregan valor a los mismos. Todo ello, con la implementación de herramientas estadísticas y técnicas lean, enfocadas al desarrollo de mejoras con impacto positivo en la reducción de la variabilidad y en la creación de valor para el cliente interno y externo. La investigación expone, una revisión de literatura de casos de éxito de la metodología, en el contexto Nacional e Internacional. Posteriormente, se muestra el análisis situado de 60 proyectos de distintos giros y sectores, de empresas de la región sur de Sinaloa, del período 2016 a 2019. Los casos contienen técnicas lean y de seis sigma. El objetivo fue, dar a conocer el enlace de la metodología de DMAMC con los objetivos estratégicos de las empresas, las herramientas y el desarrollo de las etapas, los beneficios que aportó a la empresa y las áreas de oportunidad. Se realizó un compendio de buenas prácticas locales, y se pretende que, en un futuro, puedan replicarse dentro de los sectores, en el Estado de Sinaloa. La metodología fue de carácter mixta, recolectó elementos de tipo cualitativo y cuantitativo. Como resultado se obtiene un análisis gráfico con los elementos de cada etapa de los proyectos. Los beneficios que aportó la metodología en las distintas empresas fueron diversos: satisfacción del cliente, reducción de costos, aumento de rentabilidad, de capacidad y reducción de tiempos de ciclos. El área de oportunidad de los proyectos está muy marcada: la falta de validación de las mejoras a largo plazo.*

*Palabras Clave— Seis sigma, herramientas, técnicas lean, buenas prácticas.*

## I. INTRODUCCIÓN

La metodología seis sigma, se dio a conocer por primera vez en 1980, cuando fue adoptada con gran éxito por la empresa Motorola, tras sufrir reestructuraciones corporativas originadas por una crisis de calidad, que obligó a los directivos, vender su compañía de televisores, ocasionada por la falta de sostenimiento del negocio en el mercado, debido a los altos defectos de calidad.

Seis sigma, se basa en el estudio de la capacidad de los procesos inmersos en la cadena de valor, de cualquier giro y/o tamaño. Mediante el control de las variables críticas de calidad, identificadas por los clientes, internos o externos. Con la finalidad de detectar las principales áreas de oportunidad, para desarrollar una estrategia integral que permita la implementación de herramientas estadísticas y, en ocasiones, técnicas lean, enfocadas a mejorar la situación actual de dichas variables, con ello, contribuir a un aumento de capacidad del proceso, al cumplir con las especificaciones de los clientes, hasta llegar a una calidad de clase mundial, que será aquella en la que el proceso pueda demostrar un 99.999996% de eficiencia en sus productos o servicios. A pesar de ser esta la base, como método estadístico, va más allá de ello, se trata de implementar y sostener una cultura para alcanzar la excelencia operacional.

Es así como seis sigma, da prioridad a la prevención, más allá de la reacción que genera la inspección y se enfoca en dos grandes procesos; aquellos que ya están establecidos y que presentan oportunidad de mejora, para los cuales se emplea la metodología DMAMC: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Y los procesos que se encuentran en la fase de diseño, para los cuales se emplea la metodología DMADV: Definir, medir, analizar, diseñar y verificar.

La presente investigación se enfocó en los procesos ya establecidos con oportunidad de mejora, en empresas de tamaño pequeña, mediana y grande. Se centró en la inspección de casos del tipo: reducción de defectos o fallas, reducción de tiempos de ciclo, reducción de consumo, reducción de costos y aumento en la satisfacción del cliente.

Como primera fase se muestra el análisis de la revisión de los marcos teóricos, con la intención de dar a conocer los usos, como buenas práctica de negocio y su impacto a nivel Nacional e Internacional.

Como segunda fase, se muestra el diseño de una base de datos, la información fue proporcionada por la consultora local en sistemas de calidad: TotalSigma. Se firmó una carta de confidencialidad para salvaguardar el anonimato de las empresas inmersas. Se codificaron las herramientas comunes de las etapas de la metodología DMAMC. Posteriormente, se muestra un análisis gráfico sobre el estatus de la implementación de las herramientas en los diversos casos de estudio, la definición de métricos, objetivos, análisis causa raíz, impactos económicos alcanzados y sus áreas de oportunidad.

### Objetivo

El objetivo de la presente investigación fue conocer la difusión, estatus o grado de implementación de la metodología seis sigma a nivel nacional e internacional. Asimismo, documentar los casos implementados en la región sur de Sinaloa, con la intención de analizar el enlace de la metodología con los objetivos estratégicos de las empresas y el valor generado en la capacidad de sus procesos. Revisar, detalladamente, la ejecución de las etapas, con sus respectivas herramientas y detectar las áreas de oportunidad. Para elaborar un compendio de buenas prácticas de calidad que permita difundir la metodología y, en un futuro, a través de una guía estructurada por giros o sectores, pueda replicarse en el Estado e impactar positivamente en el desarrollo económico de la región.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Seis sigma inició como una modificación al Sistema de calidad Total y era visto como un simple programa de calidad. Con el paso del tiempo, ha evolucionado hasta convertirse como una filosofía de trabajo muy competitiva a lo largo de la cadena de valor, ya que requiere un estricto cambio de cultura, enfocarse a escuchar y satisfacer los requerimientos de los clientes, como actor central en el sentido de operación en la cadena, lo que requiere de un alineamiento, entre la

estrategia corporativa, la táctica y la operativa. Esto permite un impacto muy positivo en la creación de valor y una oportunidad de mejorar el escenario financiero de la organización.

Al tener al cliente, como actor central de la cadena, permite a las empresas, identificar sus necesidades, recibir retroalimentación de la situación actual de sus productos y/o servicios y monitorear las tendencias de consumo; con la intención de disminuir la brecha de la expectativa contra la percepción recibida por el cliente.

Para la implementación de proyectos bajo este tipo de filosofía, es necesario desarrollar una estructura de trabajo, con un lenguaje entendible por sus miembros [25]. Se encuentran los maestros de cintas negras, los cintas negra, verde, amarilla y blanca. El grado depende de las horas de entrenamiento y/o del impacto de los proyectos implementados. En cuanto las cintas amarillas y blancas, generalmente son operarios que están en contacto directo con el proceso a mejorar y son clave para el éxito de los muestreos, implementación de herramientas estadísticas y técnicas lean, asimismo, contribuyen a la ejecución de los planes de mejora para el incremento de valor. También se encuentra el patrocinador o campeón del proyecto; generalmente es el gerente o director de la empresa, elemento central, ya que apoyará el alcance de los objetivos y metas trazadas.

La metodología DMAMC, emplea un amplio abanico de herramientas estadísticas y técnicas lean o de manufactura esbelta, para el análisis de los procesos y para el seguimiento de cada etapa de la metodología. La manufactura esbelta es una filosofía de producción que tuvo sus orígenes en Japón con el sistema de producción Toyota, cuyos objetivos principales son la eliminación del desperdicio y la creación de valor [1].

De acuerdo a la referencia [1], entre las ventajas de implementar el pensamiento lean o esbelto están: la reducción en los tiempos de entrega, es decir mejora en el servicio al cliente; la optimización de los niveles de inventario, la eliminación o reducción de desperdicios, reducción de costos, de mermas y retrabajos. Para la aplicación del pensamiento esbelto, es necesario conocer a detalle las actividades de transformación y las

de flujo; con la intención de perfilar las que agregan valor de las que no y enfocarse sobre la eliminación de estas últimas. Por ello, la inclusión de herramientas como DeltaT, mapeo de valor y análisis de valor, potencializa el uso de herramientas de análisis de la metodología DMAMC.

Siete desperdicios influyen gravemente en la operación y en el flujo de la cadena de valor: Los movimientos innecesarios, los tiempos de espera, el exceso de inventario, la distribución física no aprovechada, la transportación, sobreproducción, duplicidad de las tareas y métodos ineficientes de trabajo y el reproceso [1].

En modelos de calidad modernos suele aparecer el desperdicio de la falta de proactividad de los trabajadores, ya que provoca monotonía en los procesos, desmotivación y frena la mejora continua. El sistema seis sigma, favorece la proactividad, ya que integra al dueño del proceso en el incremento de valor, mediante la implementación de mejoras, en algunos casos se genera innovación disruptiva, que puede, incluso, cambiar para bien, el modelo de negocio de la empresa.

Como bien es conocido, la metodología DMAMC posee un carácter universal, lo anterior debido a que, su uso puede ser implementado dentro de los múltiples giros empresariales. Lo que permite, mayor presencia en empresas del ámbito internacional y nacional. Resaltando la adopción en empresas del estado de Sinaloa, quienes se han interesado por capacitar a su personal, desarrollar cintas verdes, amarillas y blancas.

En cuanto al contexto internacional, su aplicación destaca en países latinoamericanos, tal es el caso de Argentina, el cual según, Daniel Firka y Pedro Univaso (2009), en su investigación: Seis Sigma en Empresas Argentinas, destaca la implementación en grandes empresas en un 42%, “contrastando con un 18% de implantación en empresas Pymes (Pequeñas y medianas)”. Donde sus sectores abarcan desde telecomunicaciones, consultoría, metalurgia, industria química, energía, por mencionar algunos distribuidos uniformemente en la Ciudad de Buenos Aires y sus alrededores [2].

De igual forma, en países como Ecuador y Colombia, ha tenido un auge considerable en el desarrollo de las pymes, buscando su aplicación para un mejor desempeño de las mismas. Entre las que destacan casos de éxito en instituciones del área industrial y de servicio, en empresas turísticas [4] y de diseño en el año 2018[5], aunque no queda exenta su intervención en otro tipo de giros. [6][7]. Haciendo hincapié en Bolivia, quien la ha hecho partícipe en sus procesos de gestión en plantas bases de telefonía móvil. [21]

O bien, Brasil, con el estudio planteado en A lean six sigma framework for continuous and incremental improvement in the oil and gas sector [8], en el que, intervino a través de la combinación de diferentes principios tales como, los de LP, DMAMC y PDCA, para dar mejora con la disminución de costos, tiempos, así como aumento en la calidad para un correcto manejo de las operaciones en el proceso.

Por otra parte, a pesar de ser considerada como pionera en el ámbito de desarrollo de los sistemas de calidad, la zona centroamericana ha generado grandes impactos benéficos en el desempeño de técnicas de este tipo, en materia de reducción de costos operativos de hasta 56%, tiempos de entrega en un 33% de las organizaciones y reducción de fallas en procesos en un 11% con sus tres partes involucradas, que abarcan clientes, empleados y accionistas. [9] [22]

De igual forma, se han determinado algunos factores que han permitido que sus aplicaciones sean óptimas, tomando en cuenta con ello, el apoyo de la alta dirección, la buena definición de los objetivos a alcanzar, el uso de consultores externos, la utilización concreta de herramientas tecnológicas y de información, así como, la integración conjunta de algunos sistemas de gestión de calidad ya sea ISO en cualquiera de sus tipos.

Desde otra perspectiva, las compañías europeas, se rigen a través de una competencia firme frente a sus países cercanos, es por ello, por lo que participan en la búsqueda del manejo de innovaciones constantes, enfocada directamente en las actividades que generan valor.

Tal es el caso del Reino Unido, quienes buscan crear un margen de diferencia a través del crecimiento y buen

funcionamiento de sus pequeñas y medianas empresas (SMEs por sus siglas en inglés), sin duda, este tipo de técnicas puede permitírseles. En ese sentido, se implementó un estudio en el que: “Entre las 64 pymes que respondieron, 49 (75.56%) eran locales, 14 (21.88%) eran parte de corporaciones multinacionales y una era una empresa de riesgo compartido”, distribuidas en 13 diferentes categorías que incluían automotrices, textiles, químicas, eléctricas, farmacéuticas, imprentas, mecánicas, de comida, entre otras. Llegando a la conclusión de que, quienes contaban con este tipo de metodología frente a otras, mostraban mucho mejores resultados mostrados en aspectos como “reducción de la tasa de desechos, tiempo de ciclo, tiempos de entrega y aumento de la productividad”. [10]

Asimismo, Alemania, quien han mostrado un crecimiento considerable y eficiente a lo largo de los años, posicionándose como potencia mundial en la industria, también ha empleado 6 sigma en actividades gubernamentales, obteniendo resultados favorables en base con los recortes presupuestarios ocasionados por la deuda pública. [11]

Mientras que, de igual manera, posee una versatilidad en sectores como el de la salud, en donde en la misma región se presentó un estudio orientado al análisis neuronal profundo de enfermedades de gran impacto en la sociedad actual, tal como, el Parkinson [12]; a través de la evaluación de métodos de calidad en las cirugías de estos pacientes, considerando posibles errores que han sido registrados en ello.

Tomando en cuenta a su vez, la participación dentro de compañías italianas, en materia de la estandarización de los procesos y en comparativas con aquellas quienes se desempeñaban con otras técnicas de trabajo, localizadas en su mayoría al norte del país. En las cuales en base a lo analizado por Alberto Portioli y Marco Tantardini se buscó mejorar las prácticas en la identificación de flujos, cálculo de volúmenes y tiempos de producción, así como las políticas de cero defectos. [13]

En su mayoría, las empresas españolas buscan generar procesos más funcionales y efectivos

generando una disminución de costos en sus cadenas de valor, es por ello que, la incorporación de diferentes metodologías les facilita la integración de los procesos logísticos, haciéndolos a su vez más integrales, ejemplos claros de esto, su aplicación en empresas de paquetería y distribución, cadenas de producción y automotrices. [14]

Sin dejar atrás, a los países escandinavos cuyo enfoque es, en mayor instancia, en los rubros medioambientales. Tal como, Noruega [15], país que ha buscado implementar en la industria alimentaria, identificando de igual manera, aquellos factores que impactan en mayor medida en la sostenibilidad ecológica de los procesos de esta índole, haciendo evidente las claves de éxito en el mismo, reconociendo que, esto pudiese servir como guía para otras instituciones que deseen aplicarlo, debido a que hoy en día son cada vez más empresas quienes se preocupan por la cuestión ambientalista.

En la región oceánica, Australia la ha distinguido en materia de uso de esta en procesos de extracción de petróleo, en las costas de Western, en la que, según sus autores, O'Reilly D., Nelligan K., Goff B., Hopcroft B. y Manouchehr Haghighi (2016), les facilitó “identificar oportunidades, incrementar eficiencia y reducir el desecho, relacionado con la estimulación de los pozos y mejora en el rendimiento”. [16]

En países como Emiratos Árabes y Sri Lanka se han incorporado estos métodos dentro de las industrias de construcción, analizado desde el punto empírico de 28 compañías que incluyen todos los tamaños, con el fin, de identificar las fallas potenciales presentadas con mayor frecuencia, para con ello actuar en función del aumento de la efectividad al reducir los errores frecuentes responsables de ocasionar los 7 tipos de desechos que son arrojados en cada uno de sus procesos. [17] [18]

En una idea más globalizada, tomando en cuenta lo planteado en la publicación de Sinegar, Farida, Ginting y Dinda [19]. quienes consideraron para su análisis el estudio de casos de países diversos como Estados Unidos, India, Indonesia, Gran Bretaña, Arabia, Taiwán y China, basándose en revisiones de 21 revistas afines al

tema a tratar. Demostrando que, las ventajas más frecuentes abarcan “la mejora en la calidad, reducción en los tiempos de ciclo, disminución en la preparación, reducción de los tiempos de producción, incremento de la eficiencia, aumento de la producción y satisfacción del cliente, reducción de envíos, incremento de la capacidad del proceso y reducción de tiempos de reparo de maquinaria”. [19]

De igual forma, han sido destacables los tipos de herramientas que fueron utilizadas para obtener los resultados previstos, donde entre los más comunes que se identifican son “Diagrama de proceso (SIPOC), en 10 casos; Desing of experiments (DOE) y Value Stream Map (VSM), en 9 de los casos; 5S, en 7; Failure Mode and Effect Analysis(FMEA), en 6; y Análisis de Capacidad en 5”.

Resaltando su implementación en industrias bastante diversas como lo son, la producción de armamentos, empresas dedicadas a la fabricación de aviones y equipo para limpieza, en Estados Unidos; Extracción de minerales de hierro, elaboración de papel de cigarros y ruedas de espigas en Indonesia; manufactura de piezas y neumáticos para automóvil, así como, elaboración de conectores rotativos en India; elaboración de paneles y paneles táctiles en Taiwán; producción de PBC en China; paletizado de mineral de hierro en Omán; y en la Industria biofarmacéutica en Arabia.

Otro caso relevante, son los puestos a prueba en Arabia Saudita [20], en los cuales, buscaba abrirse el panorama de la situación actual, para con ello, generar un marco de principios de la metodología a estudiar para adaptarla a los modelos organizacionales de las instituciones de salud en dicho país, permitiendo de esta manera un mejor análisis del desarrollo de sus actividades, así como una preparación para la ejecución total de ello.

Por otra parte, en el contexto nacional, su implementación ha tenido un mayor impacto en medianas y grandes empresas, puesto que, son las corporaciones más grandes quienes funcionan como subsidiarias de éstas, aunque de igual manera, no se cuenta con un registro amplio de su funcionamiento

en las micro y pequeñas. En base al estudio de la referencia [3], uno de los impedimentos para la aplicación total de la metodología es la incapacidad de implantarla en su totalidad, evitándose de esta manera, la estandarización total de los procesos en cualquiera de los departamentos. Sin dejar atrás que, se han identificado otros problemas potenciales, como lo son la falta de capacitación de líderes de proyecto o bien adquisición mínima de ellos, de igual forma, se posee poco dominio en las técnicas estadísticas o de medición, por lo que no es posible contar con datos certeros en algunas etapas del proyecto, haciendo de esta forma que, haya fallos desde su inicio.

Existiendo a su vez, casos que resultan notorios en la zona fronteriza del noreste del país, intentando con ello el crecimiento de las empresas locales, a través de su competitividad e internacionalización. Lo anterior, puesto a prueba con la reducción en un 27% de los desechos generados en la producción. [23]

En el punto de vista regional, la metodología ha ganado cada vez mayor importancia en la región sur, posicionando a Mazatlán en un mercado cada vez más competitivo. Con la implementación de proyectos basados en DMAMC, en instituciones de diferentes tamaños y giros, abarcando grandes plantas industrializadas hasta pequeños negocios de comida, logrando con ello que, lo ofrecido por y para los clientes de la región garantice la mejor calidad, en los tiempos solicitados y con los precios más accesibles, sin perder de vista, el impacto de la generación de valor en el negocio.

Otro aspecto a resaltar, es que la ejecución de los proyectos de seis sigma, contrae diversos riesgos de fracaso, ocasionado por: el tiempo de ejecución, la falta de recursos económicos, la apatía del personal, la adopción de los cambios en la organización y en el cliente, tamaño de complejidad del proyecto, factores externos y la falta de aceptación de los clientes. [24]. Estos riesgos deben ser valorados por el equipo que dará soporte a su implementación, con la intención de que diseñen estrategias oportunas para la generación de planes de acción en las distintas etapas de la metodología, con ello garantizar que las mejoras se sostengan a largo plazo a lo largo de la cadena.

### III. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la investigación fue del tipo cualitativa con ayuda de herramientas cuantitativas, cuya intención fue conocer y comprender el grado de implementación de seis sigma, bajo la metodología DMAMC, en el contexto nacional e internacional, así como el contexto local, en los casos implementados en las empresas de la región sur de Sinaloa, para identificar similitudes y diferencias entre los sectores, así como las buenas prácticas e impactos económicos generados. Que puedan servir para, en un futuro, elaborar una guía práctica para la implementación de la metodología en la región.

El proceso que se siguió fue: firma de carta de confidencialidad con la consultora TotalSigma para la recopilación de los proyectos, respetando el anonimato de las empresas, posteriormente se diseñó la base de datos en Excel, con base en la propuesta de Escalante [24]. Seguido a ello, se analizaron los pasos de la metodología y sus herramientas, así como el análisis de resultados, la elaboración de conclusiones y recomendaciones.

La metodología revisada en cada proyecto fueron las etapas de DMAMC. Definir, medir, analizar, mejorar y controlar. En la etapa de definir se revisó que estuviera declarado correctamente el problema u oportunidad a mejorar, los objetivos y metas, su alineación a los objetivos de la empresa y a las prioridades para el cliente, esto se conoce como crítico para la calidad.

Se analizó el mapa de alto nivel, que es un diagrama de flujo de la operación general, los métricos de control, que darían vida al control del crítico de la calidad. La formación del equipo seis sigma, comúnmente integrado por un patrocinador, denominado campeón; el líder o dueño del proceso, los colaboradores que ayudarán a los muestreos e implementación de herramientas y los asesores o expertos en seis sigma; cinta negra, verde, amarilla o blanca, según aplicara. [24]

En la fase de medir se revisó que los proyectos tuvieran el proceso detallado, la identificación de las

entradas y salidas clave o críticos para el cliente, interno o externo, y sus respectivas variables de control. Asimismo, que tuvieran un soporte descriptivo de la calidad de sus bases de datos, que su sistema de medición fuera confiable, y el uso de indicadores de consistencia, como el alfa de cronbach, para los proyectos que realizaron encuesta y la prueba de normalidad para las variables continuas, así como la identificación de la distribución de probabilidad que aplicara a la naturaleza del proceso. También se revisó la capacidad inicial del proceso, es decir su línea base. [24]

En la fase de análisis se revisó que los proyectos tuvieran el proceso detallado de los análisis causa raíz de las variables, el análisis de modos y efectos de falla, gráficas de control para variables de entradas y de salida, análisis de diferencias de medias como ANOVA y regresión. [24]

En la fase de mejorar se revisó que los proyectos desarrollaran un plan de mejora, matrices de selección de soluciones, como la de evaluación de factores o de Pugh. El diseño de experimentos y la ejecución de un plan piloto. En la fase de controlar se revisó el uso planes de control y de contra medida o reacción; gráficas de control del proceso mejorado, estudios de capacidad del proceso mejorado, validación económica, plan para sostener las mejoras a largo plazo, entre otras. [24]

En la figura 1 se puede observar la base de datos utilizada para el análisis de los proyectos bajo la metodología DMAMC.

Análisis de herramientas de metodología DMAMC									
Número de muestra	Tipo	Nombre del proyecto	año	Descripción del problema:	Objetivo:	Meta económica:	reducción de costos/ ingresos	periodo de alcance de la meta:	
57	Restaurante	Reducción del número de quejas de clientes insatisfechos en centro de consumo	2018	Se ha registrado un número considerable de quejas por clientes insatisfechos en los servicios de consumo, por lo que se desea implementar la metodología seis sigma, para la detección de las causas principales de las quejas para impactar al nivel de servicio al cliente.	Disminuir el 50% de quejas con respecto al promedio antes de ponerse en marcha del 30 al 15%, es decir de 27 que equivale el 9% a 13 a 7 quejas.	\$ 2,000,000.00	mejora en ingresos	continuo	
58	Industria	Reducción de índice de garantías en el centro de energía de mediana	2018	Se está generando un número considerable de garantías en ATAVIA OFFICE SPACES en el proceso de entrega de recepción de muebles, debido a que la fabricación sigue en mal estado o dañada una de sus piezas. Se ha observado una deficiencia que se repite, ya que no tiene el control de que cuando se indica la mensajería al proveedor de 0, algunas que compran en ATAVIA OFFICE SPACES, si existen sus devoluciones por garantía.	Disminuir el 40% actual del índice de garantías mensuales que se presentan en el del departamento de logística.	\$ 100,000.00	mejora en ingresos	mediano	

Figura 1. Base de datos para análisis de herramientas DMAMC Fuente: Elaboración basada en Escalante [24]

#### IV. RESULTADOS

La muestra analizada fue del tipo intencional y dirigida, esto por la disposición de la información. Se realizó en las empresas de la región sur de Sinaloa y contempló 60 proyectos, del área industrial y de servicios. En la figura 2 se puede observar que el 64% corresponde al giro de servicios, el 33% al giro de manufactura industrial y el 3% a aquellas empresas que son Conglomerados, es decir corporativos que tienen integrados producción y servicios a filiales.

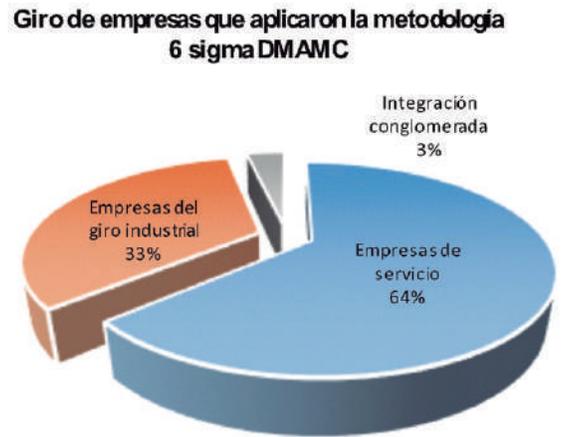


Figura 2. Giro de empresas que implementaron DMAMC Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, se muestra el amplio abanico de giros que implementaron la metodología, lo que se considera positivo, ya que puede favorecer su difusión en la región. El 42 %, está en el rubro de otros, integrado por: servicios de consultoría de procesos, distribución de material para construcción, procesamiento de maíz, de vegetales, producción de hielo, entre otras. Por otra parte, el 15% se orienta al procesamiento de atún; el 5% a servicios médicos, 5% servicios restaurantero, seguida del 3% para cada rubro: hotelería, distribución de combustible, producción de camarón y pesca de túnidos. Finalmente, se muestra el 2% para cada los servicios de distribución de producto y servicios inmobiliarios.

Por otra parte, en la figura 4 se observa el año en la que se implementó el proyecto bajo la metodología DMAMC, se puede ver que los porcentajes, son similares, oscilan del 18 al 32%, esto quiere decir que la metodología es consistente en su uso a través del tiempo, también representa una oportunidad de mejora para incrementar el grado de implementación.

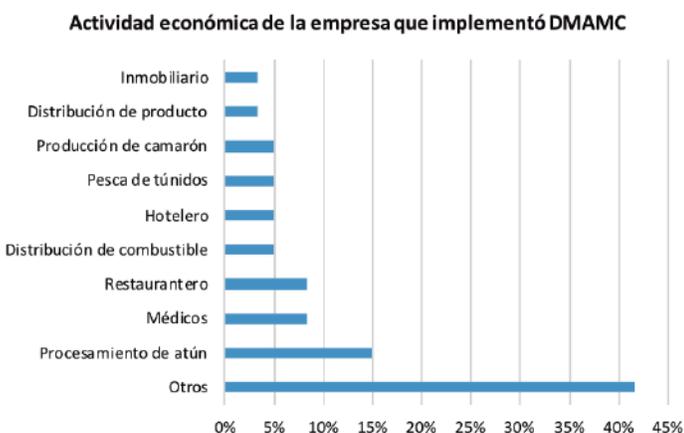


Figura 3. Actividad económica de las empresas que implementaron DMAMC. Fuente: Elaboración propia

Año en que se desarrolló el proyecto

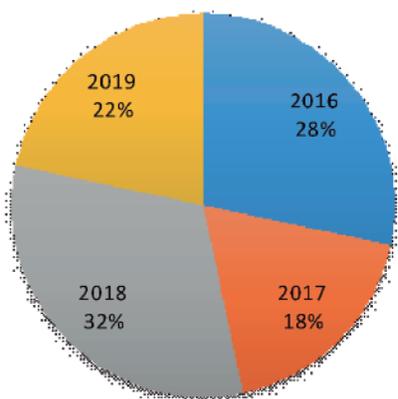


Figura 4. Año de realización del proyecto  
Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la figura 5 contiene la meta económica trazada en las empresas que implementaron seis sigma, bajo la metodología DMAMC: el 53% se enfocó a la reducción de costos y el 47% a la mejora en ingresos. La primera se enfocó en atender oportunidades de fallas, tiempos muertos, reprocesos, defectos y mermas; la segunda se enfocó en la estrategia de obtener mayores ventas, satisfacción del cliente, reducción de tiempos de ciclo, aumentos de capacidad, entre otros. También predomina el período de alcance de la meta de los proyectos, anual en un 47% y 33% mensual (Ver tabla 1). En cuanto a la meta económica de impacto, se puede ver en la tabla 2 que, el mayor porcentaje se concentra en el monto menor o igual a cien mil pesos y un 23% en un rango de mayor a cien mil y menor o igual a quinientos mil pesos. El 20% concentra una meta de

mayor a quinientos mil y menor a un millón de pesos, y un 10% se enfocó a montos por arriba del millón de pesos.

Meta trazada al implementar DMAMC



Figura 5. Meta económica trazada  
Fuente: Elaboración propia

TABLA I. PERIODO DE ALCANCE DE LA META ECONÓMICA

Período de alcance de meta económica	
Anual	47%
Mensual	33%
Semanal	8%
Trimestral	7%
Semestral	5%

Fuente: Elaboración propia

TABLA II. MONTO DE VENTA ECONÓMICA DE IMPACTO

Meta económica al implementar DMAMC	Porcentaje
<=\$100,000	47%
>\$100,000<=\$500,000	23%
>\$500,000<=\$1,000,000	20%
>\$1,000,000	10%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las herramientas utilizadas en el desarrollo de las etapas de la metodología DMAMC, en su mayoría, son las adecuadas y completadas casi en su totalidad, arriba del 96%, de acuerdo a casas certificadoras en cinta verde y negro bajo seis sigma. [24]. (Ver figura 6). Es importante comentar que, los instrumentos utilizados para la base de datos, las encuestas, se validaron a través del alfa de cronbach, con resultados superiores al .70, lo que hace suponer la consistencia de los instrumentos.

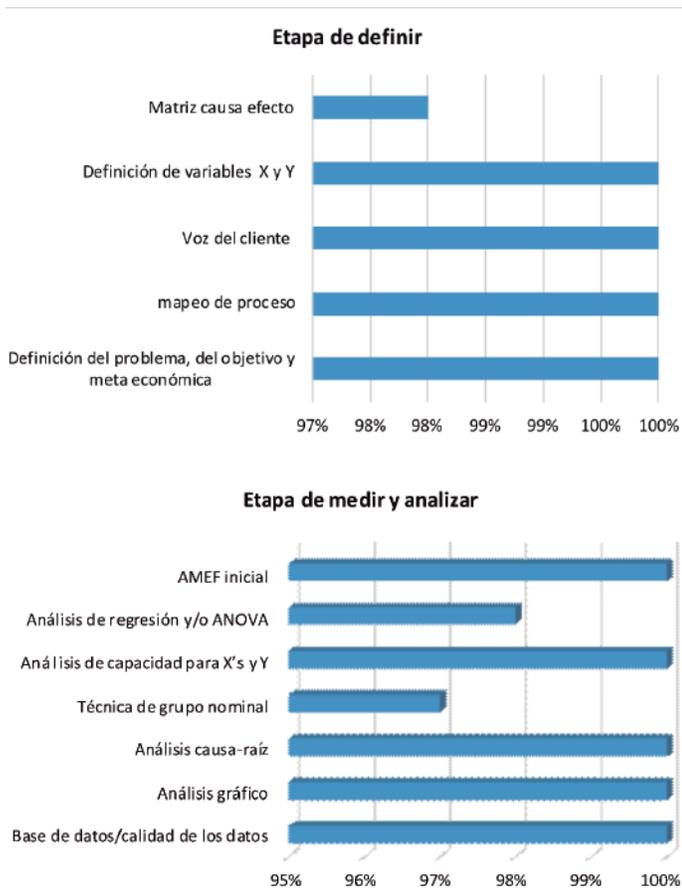


Figura 6. Herramientas de definir, medir y analizar  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 7, se puede visualizar que el diseño de experimentos es una herramienta poco utilizada en la mayoría de los proyectos, ya que se utilizó parcialmente en las pruebas piloto, pero no en la implementación total de la mejora; los motivos son por la falta de tiempo, de recursos económicos y por falta de autorización del campeón o patrocinador del proyecto, esto representa una oportunidad de mejora para el sostenimiento a largo plazo. Sin embargo, la mayoría de los proyectos implementaron análisis de efectos principales para hacer las relaciones causales de variables, así como el análisis de varianza y de correlación.

Asimismo, el 85% de los proyectos, tuvieron impactos positivos en los indicadores de control de la logística interna, en las áreas de abastecimiento, producción, calidad y almacenamiento, el 15% restante se enfocó a la logística externa. Respecto a la estrategia de mejora implementada, en su mayoría se concentra en las actividades que no agregan valor de los procesos

internos de la cadena, seguido a la habilitación del personal en la medición y control de variables críticas (Ver figura 8).

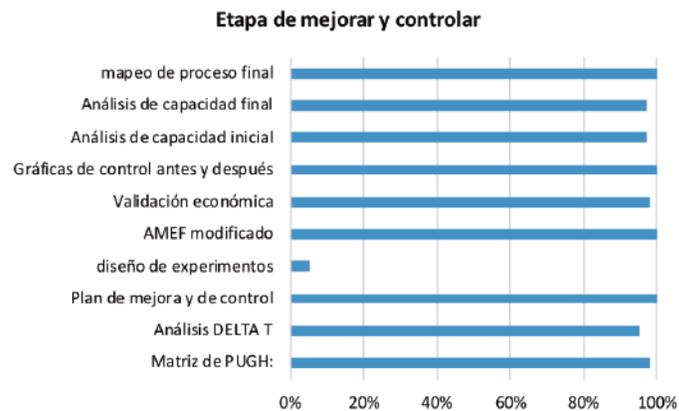


Figura 7. Herramientas de mejorar y controlar  
Fuente: Elaboración propia

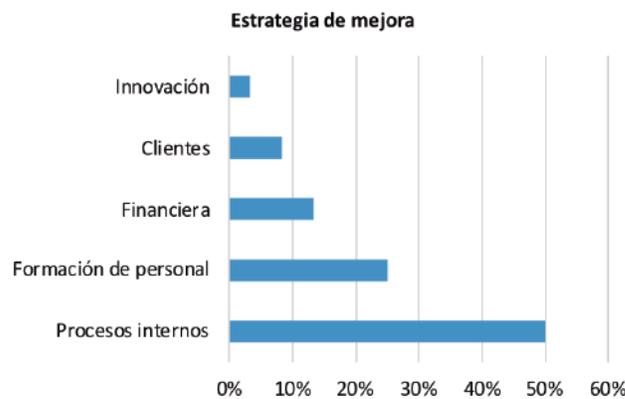


Figura 8. Estrategia de mejora  
Fuente: Elaboración propia

Otros, se enfocaron a estrategias de mejora tecnológicas, donde se requirió de reingeniería y por ende ajustes en el espacio físico de las instalaciones, que desembocó en un impacto financiero. Se sabe que toda estrategia de mejora genera impactos directos en la reducción de costos, o bien en un beneficio económico. Sin embargo, se establece esta categorización porque, las estrategias, se pueden identificar de forma muy específica en la etapa de mejorar y controlar de cada proyecto.

Cabe señalar que, parte del propósito de esta investigación fue, conocer el enlace de los objetivos del proyecto, con los objetivos estratégicos de las empresas del sur de Sinaloa. En este sentido, se

encontró que el 72% de los proyectos está fuertemente alineado y el 28% está débilmente alineado. Esto representa una oportunidad para que las empresas desplieguen capacitaciones y habilitaciones en la cadena de mando, de arriba hacia abajo; con la intención de que, la cultura de mejora continua de clase mundial, se pueda absorber en todos los procesos, y genere alto impacto para el cliente interno y externo.

En la Figura 9 se observa que algunos proyectos detallan mejoras con potencial de registro de protección de propiedad, del tipo: modelos de utilidad, derechos de autor o patente. Esto representa una gran oportunidad para que las empresas del sur de Sinaloa, puedan compartir sus prácticas innovadoras en la mejora de los procesos con sus principales aliados. En este sentido, se vuelve medular el registro previo de propiedad para garantizar la autoría de sus innovaciones. A su vez, incentivar y reconocer al personal, como dueño de su proceso, en la generación de valor. Sin duda, un sueldo moral que todos necesitan.

**Potencial de registro de propiedad industrial**

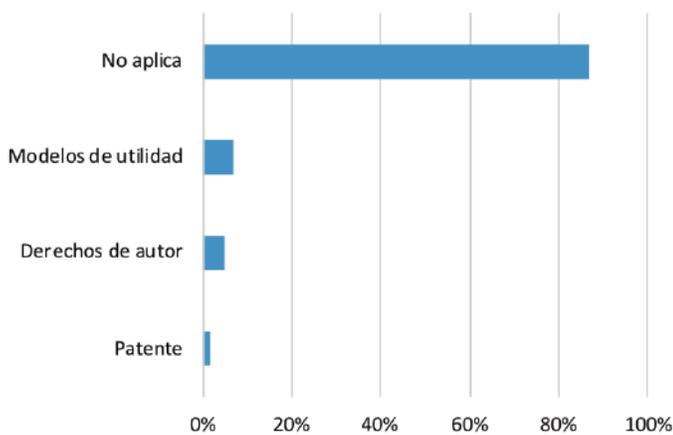


Figura 9. Proyectos con potencial de protección a la propiedad  
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la figura 10 detalla el tipo de proyecto desarrollado, esto de acuerdo al objetivo y a la implementación de estrategias de mejora, destacan los porcentajes más elevados: el 27% proyectos del tipo reducción de defectos o fallas, seguido al 23% proyectos del tipo aumento de capacidad y el 17% enfocado al aumento de satisfacción del cliente. Sobre las técnicas lean implementadas, el 100% de los proyectos desarrollaron el mapeo de la cadena de valor y el

análisis Adelta T, enfocado a detectar los tiempos que agregan valor de los que no en los procesos. Asimismo, una buena práctica que registran algunos proyectos es el desarrollo de equipos autónomos para la toma de decisiones, lo que favorece la inclusión del personal como dueños de los procesos.

**Tipo de proyecto DMAMC**

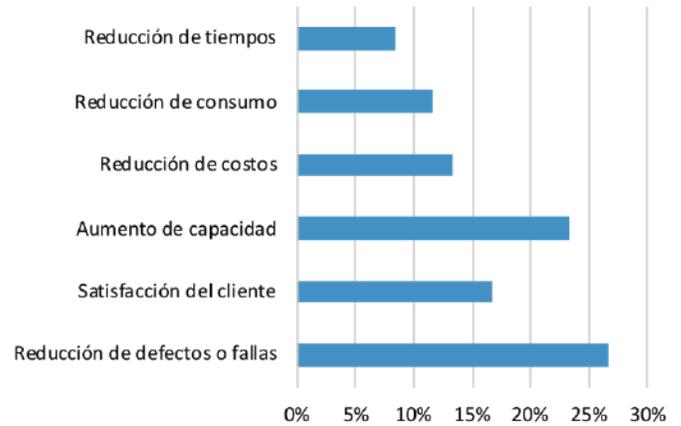


Figura 10. Tipo de proyecto  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto al análisis de capacidad de proceso Cp, el cual indica, la capacidad potencial de los procesos para el cumplimiento de las especificaciones mínima y máxima, se puede apreciar un cambio positivo, una vez que se implementaron las mejoras. El 43% de los proyectos incrementaron el valor inicial de Cp a 1.33, que se considera adecuado para trabajar, pero con oportunidad de mejora para llegar al valor de Cp 2.0. Asimismo, el 38% de los proyectos registró índices de Cp menores a 1.0, con capacidad no adecuada para trabajar y que requieren control estricto. Esto se debe a que los muestreos de la nueva línea base, es decir la situación actual de los procesos, se realizaron inmediatamente después de aplicar las mejoras, y se infiere que a mediano o largo plazo alcanzaría mejor capacidad, siempre y cuando se le dé un seguimiento estricto. El 18% restante, lo registraron los proyectos con Cp mayor a 1 y menor a 1.33. Lo que hace suponer que, con el sostenimiento de las mejoras a mediano y largo plazo, alcanzarían el nivel de calidad 6 sigma (Ver figura 11).

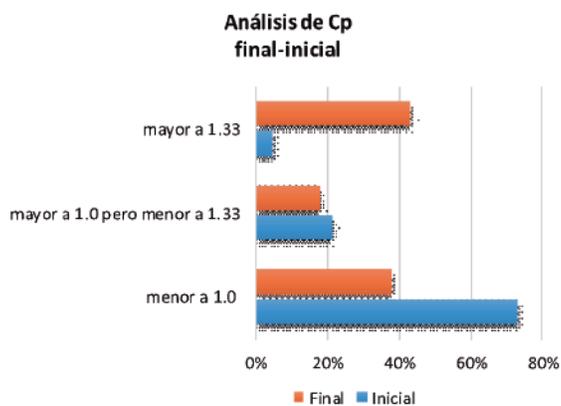


Figura 11. Cp final-inicial  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto al indicador de centralización del proceso Cpk, se observa un comportamiento similar al análisis Cp. El 43% de los proyectos presentan índices menores a 1.0, esto hace suponer que a pesar de que el proceso tiene capacidad para cumplir con ambos límites de especificación, no está centrado, se orienta hacia algunos de los límites y con alta probabilidad de salir de esa especificación. (Ver figura 12). En este sentido, se vuelve crucial el seguimiento de las mejoras, ya que, aunque los proyectos reflejan los impactos económicos obtenidos, no se ve reflejado en el indicador Cpk, se recomienda mejorar el sistema de medición actual, implementar capacitaciones sobre la mejora de este indicador y programar auditorías para garantizar el sostenimiento. Por otra parte, el 30% presenta índice superior e igual a 1.33, adecuado para trabajar y el 27% mayor a 1.0 pero mejor a 1.33. Lo que hace suponer que se necesita un seguimiento estricto a estos procesos para lograr la calidad seis sigma.

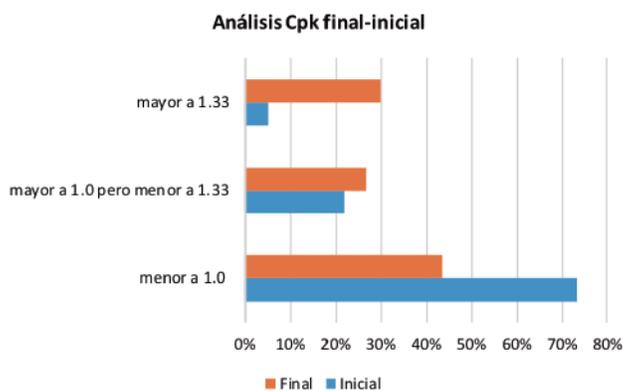


Figura 12. Cpk final-inicial  
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la Figura 13, muestra que el impacto económico alcanzado durante la implementación de los proyectos fue del 72%. Del cual, el 35% superó la meta. Sin embargo, el 28% de los proyectos no alcanzaron la meta trazada, entre las principales causas están; la falta de tiempo y la ambigüedad del equipo seis sigma al momento de fijar la meta económica. Es decir, existía una brecha entre la prioridad corporativa a tratar, y la capacidad de la empresa para alcanzarla, faltaba alineamiento. Esto se pudo constatar en las conclusiones de cada proyecto.

Alcance real de meta económica



Figura 13. Alcance real de meta económica  
Fuente: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología seis sigma tiene alto grado de implementación a nivel local, nacional e internacional. Sin embargo, se carece de una documentación de buenas prácticas, en todos los contextos, ya que, las etapas se ajustan a la cultura organizacional, a los objetivos y metas económicas, en su mayoría enlazados con la estrategia corporativa, celosamente resguardada por los directivos de las empresas.

En cuanto al caso situado, de las empresas del sur de Sinaloa. Se observan grandes similitudes entre los proyectos analizados, sobre los beneficios, alcance de metas, áreas de oportunidad, estrategias de impacto, entre otras. Independientemente del giro y tamaño de la empresa. Además, se encuentran coincidencias con casos internacionales. Esto hace suponer que la

metodología: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, se está implementando de forma consistente y estándar en la región.

Sobre el alineamiento de los objetivos de los proyectos con los de la empresa, se encontró un porcentaje muy alto de fuerte alineación, donde el objetivo se enfocó en un aumento de valor para el cliente, interno y externo, y alto impacto económico para las empresas. Los indicadores mayormente impactados de la logística interna fueron: entregas completas, entregas a tiempo, reducción de fallas en producción y en servicios y aumento del rendimiento. En cuanto a las áreas de oportunidad, se observó un patrón en los proyectos, sobre la falta del uso de un diseño de experimentos, al menos a mediano plazo, para que la validación de los factores que influyen en las mejoras, puedan medirse objetivamente. Algunas de las causas señaladas son la falta de autorización del gerente de la empresa y de la falta de tiempo y recursos económicos.

Un elemento central que debe custodiarse es la mejora incremental de los índices Cp y Cpk, que determinan el grado de calidad de los procesos, en cuanto al cumplimiento de las especificaciones. Si bien es cierto, en la mayoría de los proyectos se obtuvieron mejoras en los índices de Cp, considerado como el adecuado para trabajar, no fue lo mismo con el índice de centralización de Cpk, falta reforzar la importancia de la centralización de los procesos.

Otro aspecto, es el sostenimiento de las mejoras a largo plazo, la validación de las mismas está a corto plazo, se recomienda validar las mejoras y la estabilidad de los procesos a largo plazo, para medir el impacto en los objetivos trazados y enlazados al impacto financiero. Un factor importante es la falta de mediciones sólidas, que permita culturizar al personal en esta dinámica, es decir, en la toma de decisiones con base en datos duros o cuantitativos. Sin dejar de mencionar que, se observó otro patrón en los proyectos, la falta de inclusión del personal operativo en el entrenamiento especializado de la metodología seis sigma. Esto porque, la mayoría de los proyectos se concentran en formar al equipo de estructura; sin embargo, se obtuvieron resultados

más amplios si se integrara al personal y a los departamentos a lo largo de la cadena, realmente se viviría la cultura en todos los niveles, de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba.

Para los proyectos del sector restaurantero, es recomendable que, se dé continuidad a los planes de reacción y mantenimiento de las ganancias. Se observa una mejora en el índice de capacidad Cp, pero no en el índice de centralización CpK, se recomienda continuar con las mejoras, sobre todo en el tiempo de preparación de alimentos y en el uso de instrumentos de medición para los procesos productivos y administrativos.

Para las empresas de servicios de hotelería y distribución de combustible y de producto, Las mejoras estuvieron enfocadas a obvios en los procesos, como la falta planeación en el departamento de compras y la falta de capacitación del personal. Se observan límites de especificación muy estrictos, por lo que valdría la pena replantearlos para contar con una línea base más real y objetiva.

Para las empresas industriales, del giro agroalimentario se recomienda continuar con la implementación de la metodología 6 sigma, no solo en sus procesos productivos, sino en los administrativos e incentivar el registro de la propiedad intelectual, ya que se observaron prácticas innovadoras, con alto potencial de registro. Además, el uso de la metodología es recurrente año con año.

Algo importante de comentar es que la mayoría de los procesos del giro agroalimentario, tienen influencia de variables exógenas, es decir, aquellas que no pueden ser controladas internamente, tales como disponibilidad de materia prima, características organolépticas de los insumos, cambios de consumo, entre otras. Esto les ha permitido desarrollar mecanismos de análisis innovadores, con cierto grado de predicción, que ha favorecido la estimación de escenarios poco fortuitos de manera preventiva.

## REFERENCIAS

- [1] Mantilla C., O., & Sánchez G., J. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando lean six sigma. *Estudios gerenciales*, 28(124), 23-43.
- [2] Firka, D. & Univaso, D. (2009). Seis Sigma en Empresas Argentinas. En F. Cardini (Presidente). Encuentro Argentino de Mejora Continua SAMECO 2009. Congreso llevado a cabo en Buenos Aires, Argentina.
- [3] Aguilar, P. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: Experiencias y reflexiones. *Contaduría y Administración*, 205.
- [4] Pérez, R., García, G., Sánchez, A., & Campdesuñer, I. (2018). La satisfacción de clientes en el sector turístico: metodología seis sigma. *Ciencias Holguín*. vol. 24, núm. 1.
- [5] Bautista, M. (2015). Aplicación de la Metodología Seis Sigma en una empresa de diseño, venta y producción de artículos publicitario. [Tesis de pregrado]. Universidad de Sevilla, España.
- [6] Caicedo, N. (2011). Aplicación de un programa seis sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones. *Prospectiva*. vol. 9, núm. 2, pp. 65-74.
- [8] Guamán, F. (2015). Diseño de un esquema para la implementación de la metodología Lean Six Sigma en las empresas industriales ecuatorianas. [Tesis de maestría]. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- [8] Nascimento, DLdM, Goncalvez, O, Gusmão, R., Tortorella, G., Garza-Reyes, J. y Rocha-Lona, L. (2019), "Un marco magro de seis sigma para la mejora continua e incremental en el petróleo y el gas sector", *Revista Internacional de Lean Six Sigma*, vol. 11 No. 3, págs. 577-595.
- [9] Pérez, H. (2012). El impacto de Lean Six Sigma en organizaciones latinoamericanas y sus factores críticos de éxito. [Tesis de pregrado]. Universidad Antropológica de Guadalajara, México.
- [10] Antony, J. & Kumar, M. (2011). Lean Six Sigma Research and Practice. Recuperado de: <https://library.ku.ac.ke/wp-content/downloads/2011/08/Bookboon/Magement%20andOrganisation/lean-six-sigma-research-and-practice.pdf>
- [11] Kregel, I. & Corners, A. (2017). Introducing lean six sigma to a German municipality: an action research report. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 9 No. 2, pp. 221-237.
- [12] Polanski, W. H., Klingelhofer, L., Zolal, A., Guenther, S., Klein, J., Schackert, G., Reichmann, H., & Sobottka, S. B. (2019). Clinical Validation of Quality Improvements Using the Six Sigma Concept: A Case Study for Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease. *Stereotactic and functional neurosurgery*, 97(3), 195-201. <https://doi.org/10.1159/000502654>
- [13] Portioli Staudacher, A., & Tantardini, M. (2008). LEAN PRODUCTION IMPLEMENTATION: A SURVEY IN ITALY. *Dirección y Organización*, 0(35), 52-60. Recuperado de <https://www.revistadyo.es/DyO/index.php/dyo/article/view/56/56>
- [14] Ribes, F. (2014). Six Sigma Implementation within the Building Construction Industry. A Case Study of the Research Building Construction. [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [15] Powell, D., Lundebj, S., Chabada, L. & Dreyer, H. (2017). Lean Six Sigma and environmental sustainability: the case of a Norwegian dairy producer. *International Journal of Lean Six Sigma*. Vol. 8 No. 1, pp. 53-64
- [16] O'Reilly D., Hopcroft B., Nelligan K., Ng G., Goff B., & Haghghi M. (2016). A Lean Six Sigma Approach to Well Stimulation on Barrow Island, Australia. *Society of Petroleum Engineers*, doi:10.2118/182323-MS
- [17] Senaratne, S. & Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka. *Lean Construction Journal*. Vol.1 pp. 34-48
- [18] Raid Al-Aomar, (2012), "A lean construction framework with Six Sigma rating", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 3 Iss: 4 pp. 299 - 314
- [19] Siregar, K., Farida, A., Ginting, E. & Trie Dinda, M. (2019). Lean six sigma for manufacturing industry: a review. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/505/1/012056/pdf>
- [20] Almutairi, AM, Salonitis, K. y Al-Ashaab, A. (2019), "Un marco para implementar principios lean en la gestión de la cadena de suministro en las organizaciones de atención de salud: la perspectiva de Arabia Saudita", *International*

Journal of Lean Six Sigma , vol. 11 No. 3, págs. 463-492.

[21] Monroy, F. & Flores, J. (2015). Seis sigma, aplicado a procesos de implementación de radio bases de telefonía móvil (rbs). Revista tecnológica. Vol.13, N° 19.

[22] Pérez, E. & García, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. Tecnología en Marcha. Vol. 27, N° 3. págs. 88-106

[23] Hernández, F., Herrera, J., Hernández, G., Barrientos, A. & Hernández, J. (2010). Propuesta de aplicación de la metodología seis sigma para incrementar la competitividad: Empresas de la frontera Noreste de México. Revista académica de economía.

[24] Escalante, E. (2013). Seis Sigma, metodología y técnicas (Segunda edición). México: Limusa.

[25] Basu, R. y Nevan, J. (2008). Fit Sigma, Calidad y seis Sigma en las pymes y las empresas de servicios (Primera Edición) México: Panorama.

# Competitiveness model based on Pythagorean Fuzzy Topsis approach to establish the labor indicator in a future scenario of the Industry 4.0

María Inés Borunda-Aguilar  
Department of engineering and industrial manufacturing  
Autonomous University of Ciudad Juarez  
Juarez City, Chih. Mexico  
maria.borunda@uacj.mx

Iván Juan Carlos Pérez-Olguín  
Department of engineering and industrial manufacturing, professor,  
and research  
Autonomous University of Ciudad Juarez  
Juarez City, Chih. Mexico  
ivan.perez@uacj.mx

Erwin Adan Martínez-Gómez  
Manager of the department of engineering and industrial  
manufacturing, and research  
Autonomous University of Ciudad Juarez  
Juarez City, Chih. Mexico  
e.martine@uacj.mx

Carlos Alberto Ochoa-Zezatti  
Research and postgraduate coordination.  
Autonomous University of Ciudad Juarez  
Juarez City, Chih. Mexico  
alberto.ochoa@uacj.mx

---

*Abstract—This research presents an innovative model associated with the human factor and its future change in Industry 4.0, considering a model of future competitiveness associated with a set of Pythagorean Fuzzy Topsis to determine the real impact of the effects of the Generation Z envelope on the use of this type of technology. Considering the radical evolution in the way working methods are conceived, the collaborative team structure based on technical knowledge, capable of creating and sustaining technological infrastructures. A Pythagorean Model is implemented to adequately model the competitiveness of a company associated with Industry 4.0 under a Blockchain Model. This paper applies a decision method under the paradigm of the Multicriteria Decision Making (MCDM) Theory under the perspective of fuzzy logic, to carry out the decision making in simulated environments. The fundamental contribution lies in the adaptation of this theory for this type of environment.*

*Keywords—intelligent forecast; human factor; holt-winters; predictive numerical model; cross correlation.*

## I. INTRODUCTION

Nowadays, the transformation and changes that are being witnessing as spectators and, at the same time, as protagonists, it's so rapid and successive, that there is hardly any time to assimilate its consequences, as well as the immediate future effects. Generation Z is becoming a concern to the areas of human capital in the organizations, causing a significant impact on the management and academic centers. Providing new habits and attitudes, different from those that we were used to. What used to make "people" to be committed, nowadays no longer works. In addition to this, the new facts and communicational processes are the ones that in way or another contextualize the characteristics of this new paradigm, highlighter for the hyper-communication, open to all members of society. It is no longer a question of isolated facts that define a student, a genuine change of paradigm that lays the basis for "new young people", techno-dependents who can do their homework with the television, music and computer on at the same time. Causing offline actions to be integrated into the online ones, and a new social manifestation to be generated, with new behaviors that are products of a new phenomenon of globalization and connectivity, called Generation Z.

For Generation Z on the labor market, as well as for the current generations, it is extremely crucial to minimize the level of uncertainty in the decision-making process, in order to plan, communicate and execute in the best possible way. Unfortunately, difficult decision often involve uncertainties for which definitive data is not available or not fully relevant. Whenever is necessary to make the decision, the decision maker must consider how relevant, even the best data, is to predict the future.

Due of this, it is increasingly common to use multi-criteria methods to solve decision-making problems. To address these problems, this article proposes the use of the Order by Similarity Preference Technique with the Ideal Solution (TOPSIS, by it is acronym).

TOPSIS is one of the methods of Multi criterion Decision-Making (MCDM) and is very simple and intuitive.

intuitive. In general terms, the idea behind TOPSIS is that the best alternative should be as close as possible to the best possible solution and as far as possible from the worst possible solution [1]. There are variants of TOPSIS, as mentioned by Chen [2] with fuzzy information, Ye [3] with interval value, he also mentions those of probability distribution, Beg & Rachid [4] speak of intuitionist fuzzy data. Dr. Perez [5] to validate the efficacy of both methods, a method comparison was made between fuzzy Pythagorean TOPSIS (PF-TOPSIS) and intuitionist fuzzy TOPSIS (IF-MOORA) in which PF-MOORA shows an advantage over the alternative methods in terms of contribution value over the ranking of the best alternative. Therefore, a comparison with data obtained with these methods may be a next project just to mention some examples of authors interested in the matter.

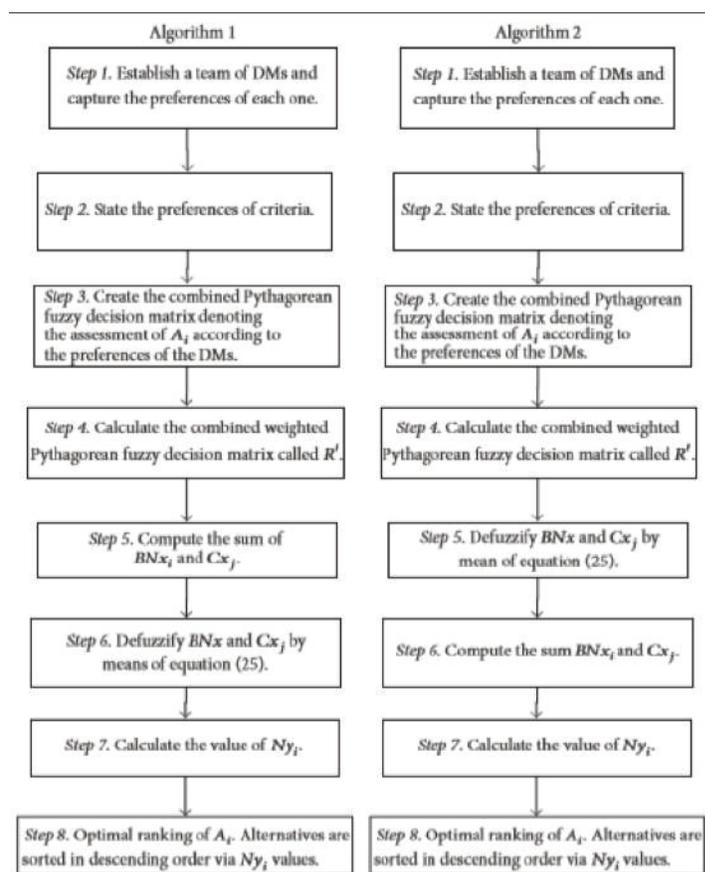


Figure 1. Flowcharts of the algorithms of the PF-MOORA method [5].

The purpose of this document is to develop a model step by step in order to obtain the best possible alternative in order to make a decision in a rational and

coherent way, using some method that allows you to take into account the different advantages and disadvantages.

The rest of this document is organized as follows. Section 2 briefly presents the related concepts. Section 3 presents the explanation of the model and the methodology and conclusions are presented in Section 4.

The results obtained from the model when the optimal alternatives were selected from a set of possible alternatives in relation to various criteria are shown at the end. With an approach that can simultaneously handle quantitative (tangible) and qualitative (intangible) information, commonly presented in the MDL problem.

## II. PYTHAGOREAN FUZZY TOPSIS

### A. Background

Yager [6] introduced a class of non-standard fuzzy subassemblies called PFS Pythagorean fuzzy sets. These non-standard fuzzy assemblies allow for the inclusion of imprecision and uncertainty in the specifications. In addition to introducing a family of add-on operators defined by:

$$C(a) = (1 - a^p)^{1/p} \quad (1)$$

Where  $p \in (0, \infty)$ . For  $p = 1$  we get the classic linear complement  $C(a) = 1 - a$ . If  $p = 2$  then we have

$$C(a) = (1 - a^2)^{1/2} \quad (2)$$

We observe here

$$C^2(a) + a^2 = 1. \quad (3)$$

Yager [7] The "Pythagorean" denial of fuzzy sets is mentioned as an important distinction between the Pythagorean and the fuzzy intuitionist sets are related to their definitions of complement or denial. Before introducing the Pythagorean fuzzy set negation, we have to say something about the complement operator [8]. We remind you that the linear function  $C(a) = 1 - a$  is the classical example of a complement operator.

$$C: [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (4)$$

As satisfice:

- 1) Limit conditions:  $C(0) = 1$  y  $C(1) = 0$
- 2) Monotonicity: If  $a \leq b$  then  $C(a) \geq C(b)$
- 3) Continuity
- 4) Involution:  $C(C(a)) = a$

### B. Definition of Interval Numbers

The interval number is followed by two distance formulas. In sequence, a method for sorting two interval numbers is presented:  $a$  and  $b$ . It can be obtained by the Euclidean distance between  $a$  and  $b$  is given by:

$$d(a, b) = \sqrt{\frac{1}{2} [(a^L - b^L) + (a^U - b^U)^2]} \quad (5)$$

If uncertainty exists, a degree of preference can be considered to measure the degree of preference of one interval number over another [9].

### C. MCDM

Multi-criteria analysis is a decision-making methodology that has established itself as the ideal one in many fields of application. For example, when it is necessary to decide between several alternatives, considering various criteria or points of view, which must be weighted numerically. The Multi-criteria decision is dedicated to this type of problem and its degree of scientific maturity is solidly established to help find the optimum option for decision-making.

The following Figure 2 shows the method's hierarchical representation and some of its most used branches TOPSIS. [10].

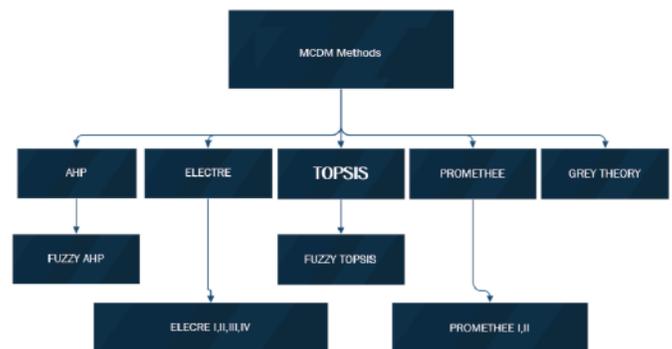


Figure 2. MCDM.

To select the best supplier, it is essential to balance these tangible and intangible factors, some of which may conflict. The process of determining the right vendor, the one that is able to provide the right quality products or services to the buyers, at the right price, at the right time and in the right quantities, is one of the most critical activities in establishing an effective supply chain. To approach this, several FMCDM methods such as TOPSIS, ELECTRE and AHP have been applied. ELECTRE is used to move towards the positive and away from the negative points.

**D. TOPSIS**

The concept of TOPSIS is based on selecting the alternative with the shortest distance from the positive ideal solution (PIS) and the most remote from the negative ideal solution (NIS). This method is used for classification purposes and to obtain the best performance in multi-criteria decision making. The FUZZY TOPSIS method is used to evaluate the criteria for each region, and then, rank the criteria by region. For this evaluation of relative proximity of alternatives for the ideal solution, the Euclidean distance approach is proposed. A series of comparisons of these relative distances will provide the order of preference of the alternatives.

$$X' = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_j \end{matrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{A_1 W}(C_1), \lambda_{A_1 W}) \\ (C_1), \pi_{A_1 W}(C_1) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{A_1 W}(C_2), \lambda_{A_1 W}) \\ (C_2), \pi_{A_1 W}(C_2) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{A_1 W}(C_m), \lambda_{A_1 W}) \\ (C_m), \pi_{A_1 W}(C_m) \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} (\mu_{A_2 W}(C_1), \lambda_{A_2 W}) \\ (C_1), \pi_{A_2 W}(C_1) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{A_2 W}(C_2), \lambda_{A_2 W}) \\ (C_2), \pi_{A_2 W}(C_2) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{A_2 W}(C_m), \lambda_{A_2 W}) \\ (C_m), \pi_{A_2 W}(C_m) \end{pmatrix} \\ & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & \begin{pmatrix} (\mu_{A_j W}(C_1), \lambda_{A_j W}) \\ (C_1), \pi_{A_j W}(C_1) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (\mu_{A_j W}(C_2), \lambda_{A_j W}) \\ (C_2), \pi_{A_j W}(C_2) \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} (\mu_{A_j W}(C_m), \lambda_{A_j W}) \\ (C_m), \pi_{A_j W}(C_m) \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Figure 3. Example of a set of Pythagoreans Fuzzy Topsis.

**E. Multiple objectives**

The problem includes multiple objectives, many of them may conflict with each other, in a way that progress in some of them lead to degradation in others. The individual will have as objectives the desire to "maximize the benefit", "minimize the costs". It seems clear that there will be no alternative, that achieves all the objectives simultaneously because of their complexity, thereof it should be consider the trade-offs between objectives.

Associated with each decision, there will be a consequence or result, that may be scalable or vectorially depending on whether the problem is single-objective or multi-objective, respectively. The decision-maker, based on personal judgments, will must quantify his or her preferences on the possible consequences, thus obtaining the values or utilities, which will constitute one more input of the decision model [11].

**III. MODEL DESCRIPTION AND METHODOLOGY**

**A. Model formulation MCDM Fuzzy**

A general multicriteria decision problem with m alternatives A\_i (i = 1..., m) y n Criteria C\_j (j = 1, ..., n) can be expressed as following:

$$D = [X_{ij}] \text{ and } W (w_j), \text{ where } i = 1, \dots, m \text{ and } j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Here D references the decision matrix (where the entry x\_ij represents the value for the alternative A\_i with respect to the criterion C\_j), y W as the vector of weights (where w\_j represents the weight of the criteria C\_j). In general, the criteria are classified as described below:

- Benefit criteria (where the best value for decision making is the highest value of x<sub>-ij</sub>).
- Cost criteria (where the best value for decision making is the lowest x<sub>-ij</sub>).

**B. Normalization**

To process criteria of different scales, a normalization process is applied. Specifically, fuzzy numbers are normalized in the decision matrix as the performance matrix [12]:

$$P = |p_{ij}| \quad (7)$$

$$\text{where } p_{ij} \left\{ \begin{pmatrix} \frac{x_{ij1}}{M}, \frac{x_{ij2}}{M}, \frac{x_{ij3}}{M} \\ \left( \frac{N - x_{ij3}}{N}, \frac{N - x_{ij2}}{N}, \frac{N - x_{ij1}}{N} \right) \end{pmatrix} \right.$$

Where:

$$M = \max_i x_{ij3}$$

$C_j$  is Benefit criteria.

Where:

$$N = \max_i x_{ij3}$$

$C_j$  is Cost Criteria

To select the best option, each scenario is evaluated, weighting each of the criteria.

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}, b_{ij} = \frac{i}{k} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k, c_{ij} = \max_k \{c_{ij}^k\} \quad (8)$$

- The value of k is the one that represents the number of matrices given.
- The i represents how many columns are there.
- The j represents how many criteria are there.

$$\min_k \{a_{ij}^k\} \quad (9)$$

- A decision matrix is made to evaluate each of the options. Therefore, it is required to weigh out each of them with a mathematical figure and be able to evaluate the different ranges.
- It is recommended to use the fuzzy number for the evaluation.
- Triangulate the function to get the fuzzy number.
- Replace the words with the numbers obtained in the fuzzy number. After replacing the values, the matrix is obtained.

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (10)$$

- The letters a, b and c represent the t values of each cell (this example is 3) and the subscript corresponds to its location in the x-y plane.
- The number of the matrix is obtained from the average of the three values, initial in each cell.
- The j and the i are obtained with the maximum value of each of the cells.
- Using the method, the words are converted into numbers using the system.

TABLE 1. EXAMPLE OF A MATRIX WITH 4 ATTRIBUTES AND THREE CRITERIA.

Attribute or Criteria	Search	Knowledge	Time to solve
C-1	3,5,7	5,7,9	5,7,9
C-2	5,7,9	3,5,7	3,5,7
C-3	5,7,9	$a_{11}^3, b_{11}^3, c_{11}^3$	
C-4	1,1,3	1,3,5	1,1,3

$$w_{j1} = \min_k \{w_{j1}^k\}, w_{j2} = \frac{i}{k} \sum_{k=1}^K w_{j2}^k, w_{j3} = \max_k \{w_{j3}^k\} \quad (11)$$

- Compute the normalized fuzzy decision matrix.
- Using the alternatives m, and criteria n, calculate the normalized values ( $(r_{ij})$ ).
- To normalize the fuzzy decision matrix. You must add the benefit and the cost criteria.
- Define which cell is for criteria.
- To determine the value of c\* take the maximum value from each cell.
- For cost is the lower value of each cell.
- Then, divide the value obtained by each of the cell values.

As the cost value is the lower, change the values abc by cba.

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_{ij}^*}, \frac{b_{ij}}{c_{ij}^*}, \frac{c_{ij}}{c_{ij}^*} \right) \text{ and } c_{ij}^* = \max_i \{c_{ij}\} \quad (12)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_{ij}^*}, \frac{a_{ij}}{b_{ij}}, \frac{a_{ij}}{a_{ij}} \right) \text{ and } a_{ij}^- = \min_i \{a_{ij}^-\} \quad (13)$$

- Computer the weighted normalized fuzzy decision matrix.
- The formula is multiplying two fuzzy numbers.
- Multiply the component of a1 with the component of a2, then b1\*b2 and continue with all the components.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes w_j \quad (14)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2) \quad (15)$$

- Determining the ideal solution Fuzzy Positive (FPIS).

- Fuzzy negative ideal solution (FNIS).

- The  $v_{ij1}$  is the minimum value of a-

- Select the maximum value.

- If the maximum value is the same, the value of position b is taken for the best candidate.

- At position, the minimum value of the cells is chosen.

-  $v_i$  represents the c component to represent  $a^*$ .

- For all criteria, each alternative distance itself from the best alternatives ( $A^{+*}$ ) u and the worst alternative ( $A^{-}$ ).

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), \text{ where } \tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \quad (16)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \text{ where } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (17)$$

- Formula to distinguish between two fuzzy numbers.

- Get the difference between the minimum in each column of position a.

- The cell values a are the value of  $a_1$  and the values of  $a^*$  are the values of  $a_2$  you proceed the same for each cell in each option.

- For a- is calculated in the same way.

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (18)$$

- To calculate the difference between the values of a- and the values of  $a^{-}$  and calls them  $d_i^*$  y  $d_i^-$ .

- Calculate the distance between each FPOS alternative and FNIS. Determines the difference of the values.

- For  $d_i^*$  add the values of each row, of each candidate.

- Using the vertex method, the distance between each alternative and the positive ideal solution and the negative ideal solution is calculated as:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, \tilde{v}_{ij}^*) \quad (19)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, \tilde{v}_{ij}^-) \quad (20)$$

- For all criteria, each alternative gets farthest from the best alternative ( $d_i^-$ ) and the worst alternative ( $d_i^*$ ).

- Computer the closeness coefficient  $CC_i$  for each alternative.

- Determine how close each coefficient is  $CC_i$  for each alternative.

- Get the results to get the best alternative:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (21)$$

### C. Methodology

The decision-maker must define the vendors and design the distribution network strategy that meets all the capabilities and manufacturing requirements of the products. To determine which product to manufacture and the quantity of them. The objectives are the minimization of the total cost of the transfer of the raw material and the assertiveness in the decision-making process, considering the technological support factors. The assumptions used in this problem are:

1. The products to be manufactured are known, such as their demand and capacities.
2. The number of suppliers and their maximum capacities are known. Figure 4 presents a simple supply chain network.
3. The network consists of multiple suppliers where distance is an extremely important criterion for measuring the cost of geographically dispersed suppliers.
4. Inventory can be maintained at any facility subject to a predetermined maximum level.
5. Scarcity is not allowed; all customer demand must be met.
6. Partial deliveries are allowed.

D. Considerations associated with the generation of Z  
 In order to be able similar, the most efficient arrangement of individuals in a social network, is developed an atmosphere able to store the data of each one of the representing individuals of each society based on Cultural Algorithms, with the purpose of distributing by an optimal form each one of the evaluated societies [12]. The main experiment consisted of detailing each one of the 1187 communities in the Cultural Algorithm, with 500 agents and 200 different believes in the believe space, one condition of unemployment of 50 épocas, this allowed to generate the best selection of each Quadrant and their possible location in a Dyoram, which was obtained after comparing the different cultural and social similarities from each community, and to evaluate with Multiple Matching Model each one of them as in [9]. The vector of weight used in the fitness function is  $W_i=[.6, .7, .8, .5, .6, .4, .9, .5]$ , which represents the importance of attributes: emotional control, ability to fight, intelligence, agility, force, resistance, social leadership and speed, in the same order. The Cultural Algorithm will select the color and features of each society is selected with based in similarity of attributes and determine a kind of society, the time related to built a Diorama is showed in Figure 3. Multivariable analysis to determine creativity and mental fatigue in our three samples.

Mathematical model (Equation 1) to understand the adequate similarity associated with the resultant Diorama:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \text{sim}(f_i^I, f_i^R)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (22)$$

Where in:

$\beta$  is the index of compositional similarity  
 $w_i$  determines for each weight the importance of an attribute.

sim is the similarity function.

$f_i^I$  and  $f_i^R$  are the values of attribute i in the input cluster (I) and in the recovered cluster (R).

The design of the experiment consists in an orthogonal array test with interactions between the variables (the 8 attributes mentioned in a range from 0 to 5); these variables are studied within a color range (1 to 64). The orthogonal array is L-N ( $2^{**}8$ ), in other words, 8 factors in N executions. The value of N is defined by the combination of the 8 possible values of the variables, also values in the color range, in Table 1 is listed some possible scenarios result of combining the values of the attributes and the specific color to represent this issue (society). The results permit us to analyze the effect of the variables on the color selection in all the possible combinations of values.

Performance of three different samples

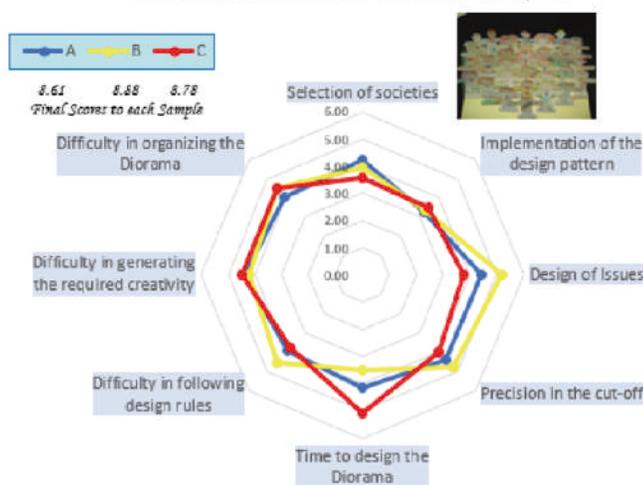


TABLE II. ORTHOGONAL ARRAY TEST.

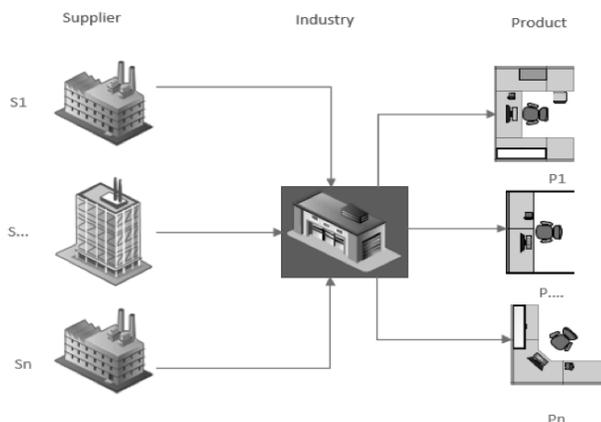
emotional control	ability to fight	intelligence	agility	force	resistance	social leadership	speed	Color
0	1	2	2	3	3	4	5	1
0	1	2	2	3	4	5	5	1
1	1	3	2	4	4	2	1	2
1	1	3	2	5	3	2	1	2
1	0	0	3	4	2	3	5	3
...	...	...	...	...	...	...	...	...

With this orthogonal array test, we try to reorganize the different attributes, and specify the best possibilities to adequate correct solutions (skills) in each society, the different attributes were used to identify the real possibilities to improve a society in a determine and potential environment and specify the correlations with other societies.

The first point to consider when organizing the model is to consider certainty estimates for events that are not directly observable (or only observed at an unacceptable cost), and the main task in building the model is to identify these events.

Figure 4. Multivariable analysis of three samples analyzed.

Each attribute is represented by a discrete value in a range from 0 to 5, where 0 means absence and 5 the highest value for the attribute. We propose the next



Pythagorean Fuzzy Set.

Table 5. Decision table.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	22.000	57.000	18.700	0.875	62.000	57.000	22.700	54.600	27.400	6.400
B	21.000	58.400	16.700	0.596	60.000	48.000	24.300	59.200	38.400	6.700
C	19.000	59.200	14.800	0.644	54.000	47.000	24.800	57.400	36.200	6.300
D	17.000	64.300	22.100	0.710	59.000	57.000	26.900	59.400	32.800	6.500
E	20.000	55.000	23.400	0.797	58.000	54.000	23.400	57.400	36.400	6.800
F	24.000	58.400	26.200	0.866	44.000	57.000	24.600	59.200	50.800	6.400
G	22.000	55.000	27.800	0.922	61.000	63.000	27.900	56.400	37.900	6.200
	Max	Min	Min	Min	Min	Min	Max	Max	Max	Max
weights	0,011	0,011	0,022	0,019	0,075	0,035	0,060	0,072	0,025	0,051

	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
A	5500.000	22.000	22.700	10.000	34.000	28.200	0.294	34.000	14.000
B	6200.000	17.000	24.700	7.000	36.000	29.300	0.571	36.000	17.000
C	6350.000	24.000	23.800	9.000	37.000	30.700	0.423	37.000	21.000
D	5792.000	23.000	24.700	10.200	38.000	31.200	0.659	38.000	20.000
E	5874.000	24.000	27.200	10.700	44.000	30.500	0.596	44.000	19.000
F	5962.000	20.000	23.800	10.400	52.000	29.800	0.667	52.000	17.000
G	5470.000	17.000	21.900	10.100	57.000	27.900	0.458	57.000	16.000
	Min	Max	Min	Max	Max	Min	Min	Min	Max
weights	0,037	0,009	0,044	0,018	0,036	0,016	0,032	0,026	0,053

	C21	C22	C23	C24	C25	C26
A	0.100	0.970	0.250	0.920	0.810	0.430
B	0.500	0.800	0.800	0.440	0.250	0.920
C	0.600	0.720	0.580	0.620	0.510	0.790
D	0.400	0.870	0.700	0.590	0.250	0.920
E	0.100	0.990	0.800	0.430	0.500	0.800
F	0.250	0.920	0.230	0.910	0.100	0.970
G	0.800	0.440	0.730	0.510	0.220	0.900
	Min	Max	Max	Max	Max	Max
weights	0,026	0,074	0,051	0,015	0,010	0,053

Table 6. Pythagorean fuzzysets.

	ideal	the worst	norma
C1	24.000	17.000	55.091
C2	55.000	64.300	154.14
C3	14.800	27.800	57.818
C4	0.596	0.922	2.067
C5	44.000	62.000	151.20
C6	47.000	63.000	145.41
C7	27.900	22.700	66.148
C8	59.400	54.600	152.61
C9	50.800	27.400	99.768
C10	6.400	6.400	6.400
C11	6.800	6.200	6.800
C12	5470.000	6350.000	15573.37
C13	24.000	17.000	56.06
C14	21.900	27.200	63.94
C15	10.700	7.000	25.67
C16	57.000	34.000	114.69
C17	27.900	31.200	78.526
C18	0.294	0.667	1.427

All criterions to maximize – it is a condition of TOPSIS method. So, the minimizing criterions had to be converted.

Tables 7. criteria conversion.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0.399	0.370	0.323	0.423	0.410	0.392	0.343	0.358	0.275	0.374
B	0.381	0.379	0.289	0.289	0.397	0.330	0.367	0.388	0.385	0.391
C	0.346	0.384	0.256	0.312	0.357	0.323	0.375	0.376	0.363	0.368
D	0.309	0.417	0.382	0.343	0.390	0.392	0.407	0.389	0.329	0.379
E	0.363	0.357	0.405	0.385	0.384	0.371	0.354	0.376	0.365	0.397
F	0.436	0.379	0.453	0.419	0.291	0.392	0.372	0.388	0.509	0.374
G	0.399	0.357	0.481	0.446	0.403	0.433	0.422	0.370	0.380	0.362

	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
A	0.353	0.392	0.355	0.390	0.296	0.359	0.206	0.296	0.296
B	0.398	0.303	0.386	0.273	0.314	0.373	0.400	0.314	0.380
C	0.408	0.428	0.372	0.351	0.323	0.391	0.297	0.323	0.445
D	0.372	0.410	0.386	0.397	0.331	0.397	0.462	0.331	0.423
E	0.377	0.428	0.425	0.417	0.384	0.388	0.417	0.384	0.402
F	0.383	0.357	0.372	0.405	0.453	0.379	0.467	0.453	0.380
G	0.351	0.303	0.343	0.394	0.497	0.355	0.321	0.497	0.339

Figure 5. Simple network Supply Chain.

The decision matrix can be represented from the following table:

Table 3. Decision matrix.

Alternative	Criteria		
	Search	Knowledge	Time to Solve
A1	3,5,7	5,7,9	5,7,9
A2	5,7,9	3,5,7	3,5,7
A3	5,7,9	1,3,5	1,2,3
A4	1,1,3	1,3,5	1,1,3

Each row represents one of the possible decisions that can be made by each of the agents involved in the environment (in our case cats and mice).

These decisions depend on a series of criteria (c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, ..., c<sub>n</sub>), as many as there are columns in the table.

Each of the criteria is discussed in detail below: Within the criteria there are qualitative and quantitative data because I consider using the Likert scale of 7 to weight the qualitative data and to put unify the criteria. Table 4 shows the criteria, having a total of 27, which have a measure of weight, of which the sum of all the criteria must be equal to 1.

Table 4. Criterias applied.

Criteria	Weights	Criteria	Weights
C1	0.01	C15	0.02
C2	0.01	C16	0.04
C3	0.02	C17	0.02
C4	0.02	C18	0.03
C5	0.07	C19	0.03
C6	0.03	C20	0.05
C7	0.06	C21	0.03
C8	0.07	C22	0.07
C9	0.03	C23	0.05
C10	0.05	C24	0.01
C11	0.04	C25	0.01
C12	0.04	C26	0.05
C13	0.01	C27	0.08
C14	0.04	Total	1.00

CAPÍTULO VI: Competitiveness model based on Pythagorean Fuzzy Topsis approach to establish the labor indicator in a future scenario of the Industry 4.0

	C21	C22	C23	C24	C25	C26
A	0.00	0.03	0.02	0.07	0.04	0.02
B	0.01	0.02	0.06	0.03	0.01	0.05
C	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04
D	0.01	0.02	0.05	0.04	0.01	0.05
E	0.00	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04
F	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01	0.05
G	0.02	0.01	0.05	0.04	0.01	0.05

Pythagorean fuzzy data does not require standardization so only the weights are multiplied with each value of the criteria.

Table 8. Criteria conversion.

	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
A	0.00	0.03	0.02	0.07	0.04	0.02	0.01
B	0.01	0.02	0.06	0.03	0.01	0.05	0.01
C	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04	0.01
D	0.01	0.02	0.05	0.04	0.01	0.05	0.01
E	0.00	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.01
F	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01	0.05	0.01
G	0.02	0.01	0.05	0.04	0.01	0.05	0.01

Weighted normed matrix.

Tables 9. weighted normed matrix.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0.004	0.004	0.007	0.008	0.031	0.014	0.021	0.026	0.007	0.019
B	0.004	0.004	0.006	0.005	0.030	0.011	0.022	0.028	0.010	0.020
C	0.004	0.004	0.006	0.006	0.027	0.011	0.022	0.027	0.009	0.019
D	0.003	0.005	0.008	0.006	0.029	0.014	0.024	0.028	0.008	0.020
E	0.004	0.004	0.009	0.007	0.029	0.013	0.021	0.027	0.009	0.020
F	0.005	0.004	0.010	0.008	0.022	0.014	0.022	0.028	0.013	0.019
G	0.004	0.004	0.011	0.008	0.030	0.015	0.025	0.027	0.010	0.019
ideal	0.005	0.004	0.006	0.005	0.022	0.011	0.025	0.028	0.013	0.020
the worst	0.003	0.005	0.011	0.008	0.031	0.015	0.021	0.026	0.007	0.019

	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
A	0.013	0.003	0.015	0.007	0.011	0.006	0.007	0.008	0.016
B	0.015	0.003	0.017	0.005	0.011	0.006	0.013	0.008	0.019
C	0.015	0.004	0.016	0.006	0.012	0.006	0.009	0.009	0.024
D	0.014	0.004	0.017	0.007	0.012	0.006	0.015	0.009	0.023
E	0.014	0.004	0.019	0.008	0.014	0.006	0.013	0.010	0.021
F	0.014	0.003	0.016	0.007	0.016	0.006	0.015	0.012	0.019
G	0.013	0.003	0.015	0.007	0.018	0.006	0.010	0.013	0.018
ideal	0.013	0.004	0.015	0.008	0.018	0.006	0.007	0.008	0.024
the worst	0.015	0.003	0.019	0.008	0.011	0.006	0.015	0.013	0.016

	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
A	-0.001	-0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.001
B	0.000	0.002	-0.002	0.000	0.000	-0.002	0.005
C	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.006
D	0.000	0.001	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.004
E	-0.001	0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.002	0.000
F	-0.001	-0.004	-0.002	0.000	0.000	-0.003	-0.005
G	0.000	0.001	-0.002	0.000	0.000	-0.002	-0.006
ideal	-0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.005
the worst	0.000	-0.004	-0.002	0.000	0.000	-0.003	-0.006

It is then deformed so that only one value remains.

Table 10. weighted normed matrix.

	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
A	-0.001	-0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.001

B	0.000	0.002	-0.002	0.000	0.000	-0.002	0.005
C	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.006
D	0.000	0.001	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.004
E	-0.001	0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.002	0.000
F	-0.001	-0.004	-0.002	0.000	0.000	-0.003	-0.005
G	0.000	0.001	-0.002	0.000	0.000	-0.002	-0.006
ideal	-0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.005
the worst	0.000	-0.004	-0.002	0.000	0.000	-0.003	-0.006

Tables 11. From ideal.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001

Table 12. S+.

A	0.0187
B	0.0149
C	0.0152
D	0.0169
E	0.0148
F	0.0178
G	0.0183

Table 13. From the worst.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001
C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
G	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000

A	0.0133
B	0.0161
C	0.0146
D	0.0121
E	0.0126
F	0.0134
G	0.0127

Table 15. Ranking.

	Ci	Ranking
A	0.416	6.000
B	<b>0.519</b>	<b>1.000</b>
C	0.490	2.000
D	0.416	5.000
E	0.459	3.000
F	0.429	4.000
G	0.410	7.000

The table shows that the best alternative is option B, however, it can be presented to internal manipulations within the process, through the personnel directly involved and who have the hierarchy to make the decision for which the implementation of Block Chain is proposed as a highly qualified and proven security measure.

Once the model is presented and tested, the Block Chain is implemented. After obtaining the best alternative, it is sent to a decentralized database through a network of virtual machines, which acquire a copy of the file and validate the information, approving a hash which must be compared by each machine in the virtual network to verify that the file did not suffer any modification in the path. As can be seen in figure 6.

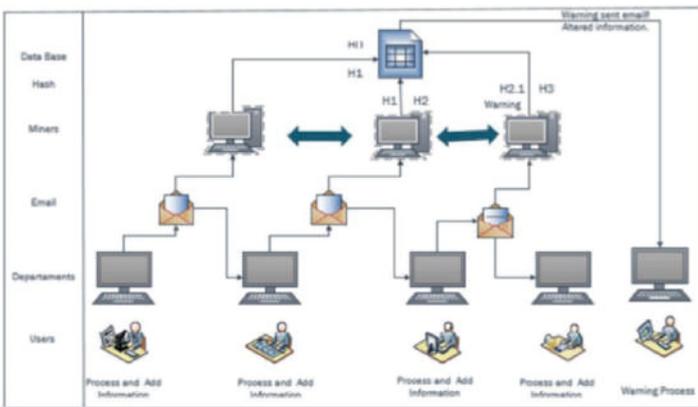


Figure 6. Block Chain Process.

Block Chain is part of the 4.0 industry within the cyber security, therefore, it is important to consider that the 4.0 industry is replacing labor by machines or robots. This has presented an increase in productivity, as well as it has transformed the industrial sector itself with a significant increase in competitiveness and,

consequently, in offshoring to countries with better productivity conditions.

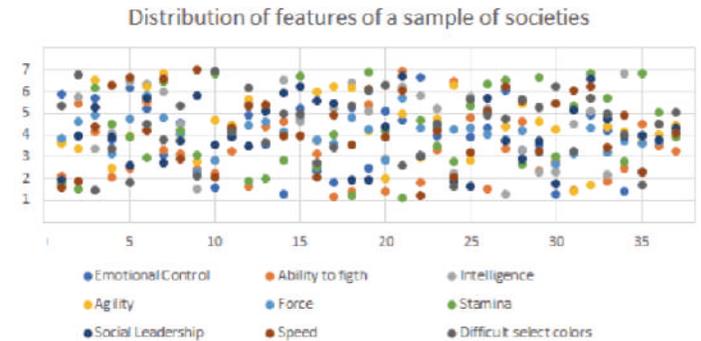


Figure 7. Graphics represent the values after applying Orthogonal Array to evaluate data.

The efficiency of the machines will virtually be the same anywhere in the world because the manufacturers are global, while the local use of the labor will continue to be reduced more and more, and their contribution to the differential productivity will also be reduced. In this context, productivity will have to measure the factors evaluated here and undoubtedly many more, such as the integration of the machines in the production system, especially in the logistics of the suppliers; the excellence in their maintenance, which allows to increase their availability; the increase of their flexibility, to adapt to the continuous changes of the demand, just to mention some. And this is where human resources play a fundamental role, but with very different profiles to the current ones. This is the reason why Generation Z, with its high level of mastery in technology, could easily become involved in the labor sector.

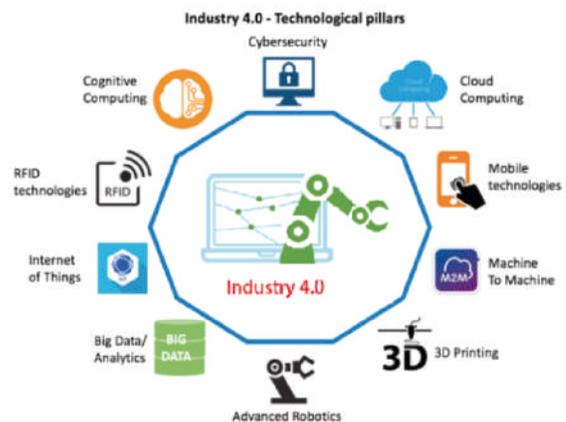


Figure 8. Components of the 4.0 Industry specifying the usage of the Block Chain as part to the Cybersecurity and Cognitive Computing.

Generation Z is immersed in technology from a very early age, it has generated a paradigm shift in their learning process. As Steve Jobs said, "the computer is a bicycle for the mind" and this concept is clearly activated by Zs who seek collaboration, creativity, critical thinking, contributing, talking, connecting, learning. And this learning is different, because it is a personalized learning, of exchange, analytical that they carry out themselves. However, the collaborative work in a personal environment is a topic that is still needs to be discussed.

For this new generation within the 4.0 industry, more knowledge capabilities are required, such as imagination to devise solutions or to innovate new processes; of leadership, in complex environments with personnel of different culture and nationality, to break down barriers between society; of teamwork, focused on carrying out collaborative work. This is where Generation Z can easily establish an affinity with anyone anywhere in the world, but not so easily with those who are next to them. For example, according to a recent study by the World Economic Forum, the least required skills in 2020 will be physical (4%) and content-related (10%), while those most in demand will be complex problem solving (35%) and social skills (19%).

#### IV. CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

An effort verifies the effectiveness of this theory, a simulation environment has been designed to be as simple as possible, so that it does not mask the results produced by FUZZY TOPSIS. The results have been analyzed in chapter 3, showing the effectiveness of the proposed method for this type of environment.

The approach that was made about the developed environment in which the situations described in this work are simulated, is easily extensible to environments with a greater number of agents without more than increasing or modifying the decision variables and even the criteria itself. Undoubtedly, guaranteeing its reliability by means of the Block Chain is a way to counteract any malicious manipulation in the process.

It will be necessary to act on the one hand, in the educational field, preparing the new generations in technical knowledge capable of creating and sustaining the necessary technological infrastructures; but also, especially, in the promotion of creative skills, social relations, decision making in uncertain environments, facilitating leadership, etc.; skills necessary for the management of the complexity of the new productive environment.

An important aspect is to describe a Business Model that contemplates vital aspects in the improvement of productivity as it can be observed in Figure 9.

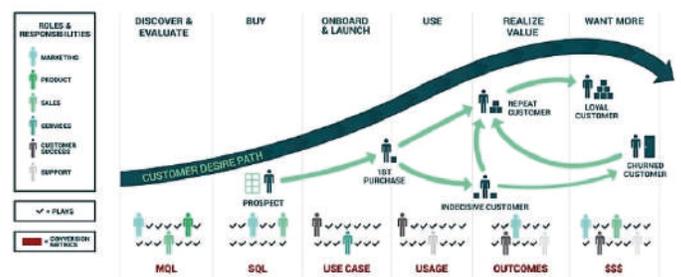


Figure 9. A proposed model for the implementation of competitiveness improvement in Industry 4.0 considering the factor of generation Z.

#### REFERENCES

- [1] R. Lourenzutti, R.A. Krohling, and M. Z. Reformat, "Choquet based TOPSIS and TODIM for dynamic and heterogeneous decisionmakingwithcriteriainteraction," *Information Sciences*, vol.408, pp.41–69, 2017.
- [2] J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [3] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9
- [4] Ye, F. (2010). An extended TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers for virtual enterprise partner selection. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 7050–7055.
- [5] Beg, I. & Rashid T. (2014). Multi-criteria trapezoidal valued intuitionistic fuzzy decision making with Choquet integral based TOPSIS. *OPSEARCH*, 51(1), 98–129.

[5] Luis Pérez, Luis Rodríguez, Alejandro Alvarado, David Luviano, Zeshui Xu (2018) MOORA under Pythagorean Fuzzy Set for Multiple Criteria Decision Making

[6] Yager, R. R., "Pythagorean membership grades in multi-criteria decision making," Technical Report MII-3301 Machine Intelligence Institute, Iona College, New Rochelle, NY, 2013.

[7] R. R. Yager, "Pythagorean fuzzy subsets," in Proceedings of the 11th Joint World Congress on Fuzzy Systems and NAFIPS Annual Meeting, IFSA/NAFIPS 2013, pp. 57–61, Edmonton, Canada, June 2013

[8] Yager, R. R., "On the measure of fuzziness and negation part I: membership in the unit interval," *Int. J. of General Systems* 5, 221-229, 1979. [9]. Beliakov, G., Pradera, A. and Calvo, T., *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*, Springer: Heidelberg, 2007.

[9] Wang, Y.-M., Yang, J.-B., & Xu, D.-L. (2005). A two-stage logarithmic goal programming method for generating weights from interval comparison matrices. *Fuzzy Sets and Systems*, 152(3), 475– 498.

[10] Aruldoss, Martin, T. Miranda Lakshmi y V. Prasanna Venkatesan. (2013) "Una encuesta sobre métodos de toma de decisiones de criterios múltiples y sus aplicaciones". *American Journal of Information Systems* 1.1: 31-43.

[11] Pedro Javier Herrera Caro, (2008) Toma de decisiones en simulación basadas en la teoría de la decisión multicriterio. 3:2

[12] Mathew, M., & Thomas, J. (2019). Interval valued multi criteria decision making methods for the selection of flexible manu-facturing system. *International Journal of Data and Network Science*, 3(4), 349-358.

[13] R. Lourenzutti, R.A. Krohling, and M. Z. Reformat, "Choquet based TOPSIS and TODIM for dynamic and heterogeneous decision making with criteria interaction," *Information Sciences*, vol. 408, pp. 41–69, 2017. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

# La planificación integral del acceso rural. Aplicación y resultados en cuatro microrregiones rurales de bajos ingresos

José Alfonso Balbuena Cruz  
Instituto Mexicano del Transporte  
balbuena@imt.mx

Alma Rosa Zamora Domínguez  
Instituto Mexicano del Transporte  
azamora@imt.mx

Agustín Bustos Rosales  
Instituto Mexicano del Transporte  
abustos@imt.mx

José Alejandro Ascencio Laguna  
Instituto Mexicano del Transporte  
aascencio@imt.mx

---

*Resumen—El presente artículo describe la aplicación de la metodología “Planificación Integral del Acceso Rural” (desarrollada por la Organización Internacional del Trabajo –OIT) en cuatro microrregiones rurales localizadas en el municipio de Amealco, al sur del estado de Querétaro, México, con la finalidad de definir y priorizar los problemas y necesidades de acceso de los pobladores rurales hacia los puntos oferentes de los bienes y servicios básicos disponibles, y con ello identificar y proponer soluciones que mejoren dicho acceso rural. Finalmente, se puede concluir que la metodología PIAR efectivamente involucra a los interesados (pobladores rurales-autoridades locales/federales) en identificar los problemas de acceso de la microrregión y diseñarse propuestas de solución que sean factibles. Esta forma de colaboración entre pobladores rurales y autoridades locales/federales se puede considerar bajo la perspectiva de la inteligencia colectiva.*

*Palabras Clave— Planeación participativa, acceso rural, servicios básicos.*

## I. INTRODUCCIÓN

La PIAR es una metodología de planificación participativa local que fue desarrollada por la Organización Internacional del Trabajo, desde hace más de diez años, basada en el concepto del acceso rural, y el cual se considera como el nivel de facilidad o dificultad de los pobladores rurales para usar, alcanzar u obtener los bienes y servicios básicos [1]. El acceso es un factor importante en el desarrollo rural, efectivamente la falta de acceso es percibida como uno de los principales factores de la pobreza, particularmente en las áreas rurales de los países en desarrollo. Las personas necesitan tener un adecuado acceso al agua, la energía, la tierra para cultivos, los servicios de salud, la educación, los servicios de transporte y los mercados. La falta de acceso limita la oportunidad que las personas tienen para mejorar y mantener su bienestar social y económico. La mejora del acceso y la reducción de la pobreza están correlacionadas.

Dado lo anterior, la PIAR trata de manera simultánea mejorar el sistema de transporte rural y la distribución de la infraestructura y los servicios básicos. El objetivo de la metodología es -de una manera costo-efectiva- mejorar el acceso a bienes y servicios en las áreas rurales, en particular en comunidades pobres y en desventaja. La PIAR como metodología de planeación participativa se basa en las necesidades de acceso de la población rural y busca maximizar el uso de los recursos (humanos, materiales y financieros) de los gobiernos locales y federal. Sus principales características son su sencillez, uso amigable, aplicación de bajo costo y resultados inmediatos. La PIAR apoya a los tomadores de decisión locales y federales en sus procesos de planeación, para definir prioridades en diferentes sectores y comunidades, y de esta forma, evaluar rápidamente qué se debe hacer y en dónde e identificar las inversiones prioritarias en servicios y/o infraestructura rural.

Con base en lo anterior, se aplicó la PIAR por primera vez en México en cuatro microrregiones rurales de bajos ingresos localizadas en el municipio de Amealco al sur del estado de Querétaro [2, 3, 4 y 5].

De esta manera, los objetivos perseguidos por la aplicación de la PIAR fueron:

Usar una metodología de planificación participativa (comunidades rurales-autoridades locales/federales) en tres microrregiones rurales del municipio de Amealco, Querétaro que permita la obtención de información empírica, para el análisis del problema multisectorial de las necesidades de acceso de hombres y mujeres hacia los puntos oferentes de los bienes y servicios básicos disponibles.

Priorizar los problemas de acceso hacia los puntos oferentes de bienes y servicios básicos y elaborar propuestas de solución de bajo costo y factibles de llevarse a cabo.

## II. LA PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL ACCESO RURAL

Como se mencionó anteriormente la PIAR es una metodología de planeación participativa que comprende un cierto número de pasos [6] y los cuales se pueden agrupar en tres fases:

Fase 1. Recolección de datos.

Fase 2. Análisis de datos.

Fase 3. Identificación de intervenciones o propuestas de solución (ver Figura 1).

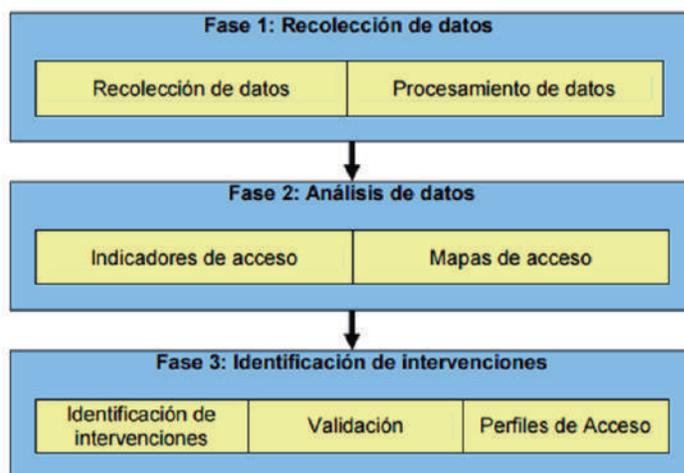


Figura 1. Fases y pasos de la Planificación Integral del Acceso Rural

### A. Fase 1. Recolección de datos

En el periodo 2016-2019 se aplicó, en reuniones comunitarias, el cuestionario básico de la PIAR a grupos

de informantes clave de 58 de flujo; con la intención de perfilar las que agregan valor comunidades rurales con población indígena y mestiza. A través de dicho cuestionario hombres y mujeres proporcionan respuestas consensuadas sobre:

a) Información general.- Fecha de la reunión y lugar donde se realiza; nombres de informantes clave y su cargo o posición en la comunidad; distancia y rumbo de la cabecera municipal; tipo de terreno donde se asienta la comunidad; población y número de familias. En el caso de la población y el número de familias, en varias reuniones comunitarias, los informantes clave no tenían la información correspondiente, por lo que se vio en la necesidad de obtenerla del Catálogo de Localidades de la Secretaría de Desarrollo Social. En particular, se tomó la decisión de considerar el dato de las viviendas particulares habitadas (para 2010) como el número de familias.

b) Localización de los servicios e instalaciones básicas en la comunidad, a través de la elaboración de un mapa o croquis por los informantes clave.

c) Problemas de acceso y movilidad existentes de los pobladores hacia: las instalaciones de salud, escuelas (nivel primaria), agua potable, instalaciones postcosecha, mercados, servicios administrativos y empleo.

d) Existencia de servicios de transporte e infraestructura y la transitabilidad de las rutas.

e) Y, los tres principales problemas de acceso de la comunidad con tres posibles soluciones.

El acompañamiento de funcionarios del gobierno municipal, durante las reuniones comunitarias, fue clave para que los pobladores de las comunidades visitadas tuvieran confianza en responder el cuestionario.

Una vez obtenida la información de acceso, a través de la aplicación del cuestionario de la PIAR, se procedió a la captura de dicha información en hojas de cálculo de Excel, con la cuales se generó la base de datos correspondiente.

### B. Fase 2. Análisis de datos

Con la base de datos obtenida se procedió al análisis de los datos de la siguiente manera:

1. Cálculo del Indicador de Acceso para todos los servicios y para todas las comunidades rurales.- El Indicador de Acceso (IA) muestra la dificultad que tienen las familias rurales para hacer uso de un servicio, es decir, muestra el tiempo de recorrido promedio acumulado de las familias rurales al momento de hacer uso de un determinado servicio. De esta forma, se observa si el servicio tiene fácil acceso o no comparando los valores del IA entre comunidades de un servicio en particular. La manera de calcular el IA es a través de la siguiente ecuación [6]:

$$IA = TR \times NF$$

en donde:

NF= Número de familias que residen permanentemente en la comunidad, pueblo, caserío u otra área dada bajo consideración.

TR = Tiempo de recorrido o tiempo de viaje promedio que una familia emplea para llegar a un servicio.

IA = Indicador de acceso: la multiplicación del tiempo de recorrido promedio y el número de familias. Esto cuantifica el nivel de dificultad con que las familias tienen acceso a una necesidad o servicio dado; en “minutos-familia”.

Aunque este indicador muestra efectivamente las comunidades donde las familias “consumen” demasiado tiempo para acceder a un servicio, se decidió emplear la siguiente ecuación donde se incluye el Tiempo Meta [6]:

$$IA = NF \times (TR-TM)$$

en donde:

NF= Número de familias que residen permanentemente en la comunidad, pueblo, caserío u otra área dada bajo consideración.

TR = Tiempo de recorrido o tiempo de viaje promedio que una familia emplea para llegar a un servicio.

TM = Tiempo meta para el servicio o sector (tiempo de recorrido en que la autoridad federal, estatal o municipal considera aceptable para que la población pueda hacer uso de un servicio).

IA = Indicador de acceso: la multiplicación del número de familias por la diferencia del tiempo de recorrido promedio menos el tiempo meta. Esto cuantifica el nivel de dificultad con que las familias tienen acceso a una necesidad o servicio dado; en “minutos-familia”.

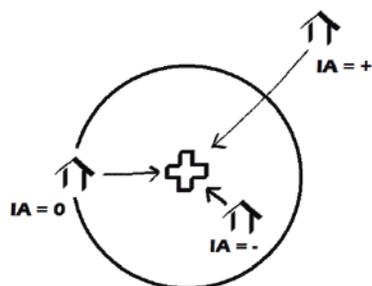
Este IA permite identificar tres situaciones en las que se pueden encontrar las comunidades:

Primero.- Si el IA tiene un valor negativo, significa que los pobladores rurales tienen un tiempo de recorrido por debajo del tiempo meta. Es decir, están dentro del área de influencia de la instalación donde se proporciona el servicio (centro de salud, escuela, mercado, cabecera municipal, etc.).

Segundo.- Si el IA tiene un valor igual a cero, significa que los pobladores rurales tienen un tiempo de recorrido igual al tiempo meta. Es decir, están en los límites del área de influencia de la instalación donde se proporciona el servicio.

Tercero.- Si el IA tiene un valor positivo, significa que los pobladores rurales tienen un tiempo de recorrido mayor al tiempo meta. Es decir, están fuera del área de influencia de la instalación donde se proporciona el servicio.

Con esto, se tiene una idea clara de a qué comunidades hay que darles prioridad en la solución a sus problemas de acceso, una vez que se haya definido el sector o servicio a atender. Además, el IA se hace visible para el tomador de decisiones o planificador al presentarlo de manera gráfica en un mapa de acceso, ver Figura 2.



2. Jerarquización de los problemas prioritarios.- Este segundo punto, permite obtener la jerarquización de los sectores o servicios a atender, y donde se procede a hacer la suma de los tres principales problemas de acceso de cada servicio mencionados por los informantes clave. Por ejemplo, para el servicio de salud se sumaron los problemas de acceso con prioridad 1, más los problemas de acceso con prioridad 2 y, finalmente, los problemas de acceso con prioridad 3. Este procedimiento se repitió para los demás sectores mencionados por los informantes clave: transporte, educación, agua potable, servicios administrativos, venta de artesanías, mercados, carreteras y drenaje.

La jerarquización de los problemas prioritarios permite enfocarse en un sector a la vez y, así, generar las soluciones factibles que permitan subsanar dichos problemas, aprovechándose al máximo los recursos disponibles y, en muchas ocasiones, limitados.

### C. Fase 3. Identificación de intervenciones o propuestas de solución

Para poder elaborar propuestas de solución factibles y de bajo costo, se requiere de la elaboración de perfiles de acceso.

Un perfil de acceso es la descripción del análisis de datos apoyado en gráficos y mapas de acceso, donde se identifican claramente los sectores o comunidades prioritarios por atender. Esta visualización de los problemas de acceso permite a los planificadores locales generar varias propuestas de solución que son consensuadas con la población local y los tomadores de decisiones en reuniones comunitarias o talleres de validación.

## III. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE LA PIAR

Como se mencionó, se aplicó la PIAR en cuatro microrregiones rurales de bajos ingresos localizadas en el municipio de Amealco al sur del estado de Querétaro: San Ildefonso Tultepec (población indígena otomí), zona norte (población mestiza), zona poniente (población indígena otomí y mestiza) y

Figura 2. Ejemplo del área de influencia de una instalación de salud con base en el Indicador de Acceso.

Santiago Mexquititlán (población indígena otomí), ver Figura 3. Se eligió al municipio de Amealco porque cuenta con un alto grado de marginación [7].

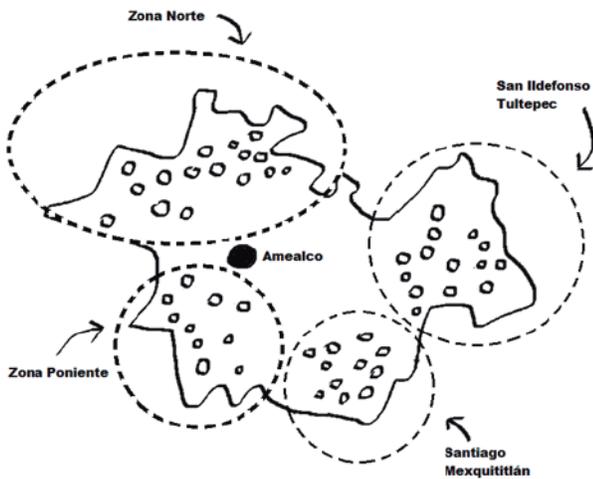


Figura 3. Área de estudio

En cuanto a las actividades económicas que se llevan a cabo en las microrregiones se identificaron las siguientes con base en información recopilada en campo.

El 91% de las comunidades estudiadas realizan labores agrícolas para autoconsumo. Debido a que dicha producción agrícola no permite tener un sustento adecuado a los hogares rurales, sus integrantes se ven en la necesidad de llevar a cabo las siguientes actividades fuera de sus comunidades:

En 42% de las comunidades, los integrantes de las familias se emplean en actividades relacionadas con el área de la construcción en la capital del estado y otras ciudades cercanas.

El 28% de las comunidades, tienen miembros de los hogares desempeñándose como obreros en fábricas ubicadas en la capital del estado y otras ciudades próximas al municipio.

En 11% de las comunidades se tienen hogares donde se presenta el fenómeno de la migración hacia los Estados Unidos.

El 7% de las comunidades, los integrantes de las familias se desempeñan como jornaleros en campos ubicados en municipios cercanos.

En 6% de las comunidades visitadas, hay familias dedicadas a la elaboración de artesanías las cuales son vendidas en la capital del estado y otras ciudades cercanas.

Y, el restante 6% de las comunidades, los integrantes de las familias se emplean en diversas actividades como: sector servicios y trabajo doméstico. Ver Figura 4.

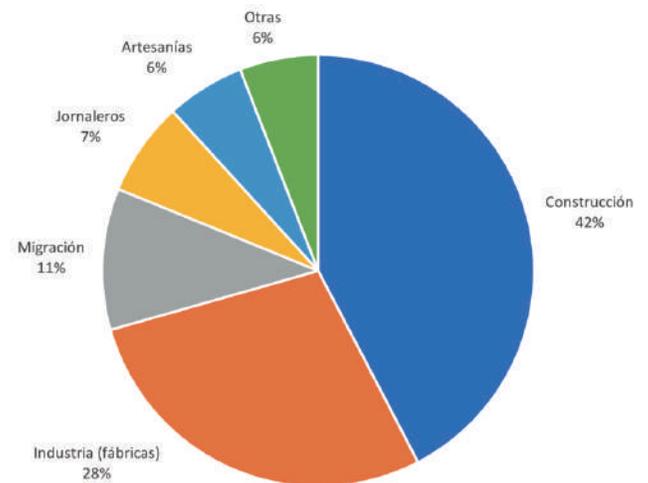


Figura 4. Actividades fuera de las comunidades

Una vez obtenida, procesada y analizada la información de las cuatro microrregiones de Amealco se obtuvo lo siguiente.

#### A. Microrregion San Ildefonso Tultepec

Para San Ildefonso Tultepec, los servicios preferentes a los que hay que resolver sus problemas de acceso son: la salud, el transporte y la educación, los cuales en conjunto agrupan el 81% de los problemas de acceso (ver Figura 5). Efectivamente, el servicio de salud acumula el 54% del total de los problemas de acceso mencionados por los informantes clave; en segundo lugar, es el transporte con el 15%, y como tercer sector prioritario se tiene a la educación con el 12% del total. Los demás problemas de acceso se distribuyen en los servicios relacionados con el agua potable, cuestiones administrativas, venta de artesanías (tener un mercado) y, por último, el acceso a mercados, carreteras y drenaje.

Con respecto al servicio de salud, se tiene que los principales problemas de acceso a dicho servicio son:

en primer lugar, la falta de personal médico calificado; en segunda posición, la frecuencia de transporte y, en tercer lugar, la falta de medicamentos. De esta forma, las soluciones al problema de acceso al servicio de salud deben estar dirigidas a la mejora del servicio relacionado con la cantidad del personal médico y las medicinas.

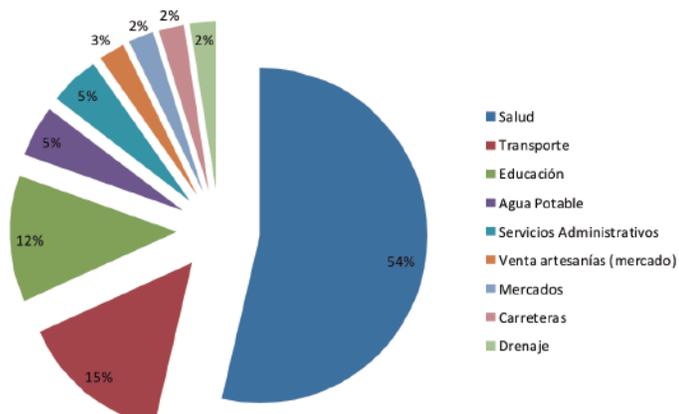


Figura 5. Jerarquización de los problemas prioritarios por sector o servicio para San Ildefonso Tultepec.

Con respecto al servicio de salud, se tiene que los principales problemas de acceso a dicho servicio son: en primer lugar, la falta de personal médico calificado; en segunda posición, la frecuencia de transporte y, en tercer lugar, la falta de medicamentos. De esta forma, las soluciones al problema de acceso al servicio de salud deben estar dirigidas a la mejora del servicio relacionado con la cantidad del personal médico y las medicinas.

Con el perfil de acceso obtenido anteriormente, se elaboraron mapas de la cobertura del servicio de salud, para tener con mayor claridad qué instalaciones de salud deben ser mejoradas en el problema de acceso de falta de personal médico calificado y de medicinas.

Indudablemente, como se puede apreciar en la Fig. 6 las instalaciones de salud más utilizadas son el Centro de Salud de Amealco y el Centro de Salud conocido popularmente como “La Ermita”. El hecho de que se tengan limitantes con el personal médico y las medicinas ocasiona que la atención en dichas instalaciones de salud no sea la adecuada. Por esta situación, las familias no sólo buscan ser atendidas en el centro de salud de “La Ermita”, sino que, en ciertas ocasiones, se dirigen al centro de salud de Amealco (cabecera municipal) generándose la saturación de dicha instalación de salud.

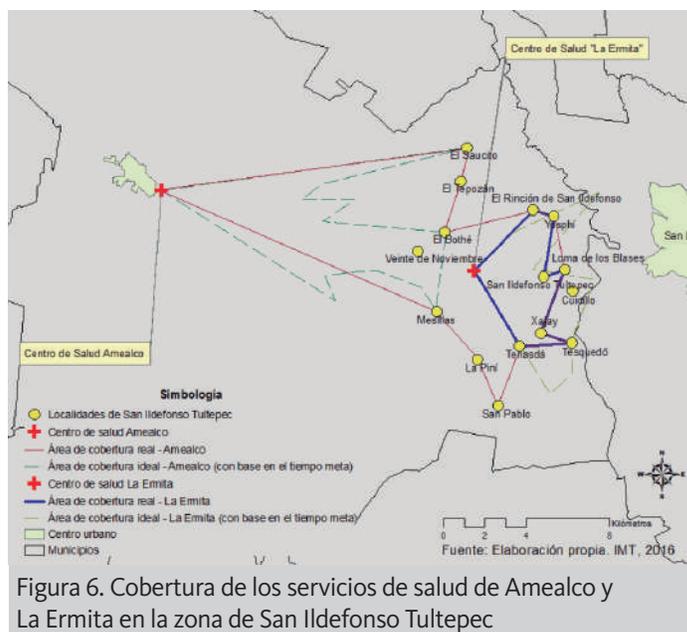


Figura 6. Cobertura de los servicios de salud de Amealco y La Ermita en la zona de San Ildefonso Tultepec

En cuanto al servicio de transporte, los problemas de acceso se concentran en mejorar la tarifa (que es cara); que se realice el recorrido completo de la ruta de transporte; que aumente la frecuencia del servicio y se ajuste el horario de las rutas de transporte a las necesidades de los usuarios y, finalmente, en aumentar la capacidad de las unidades, en particular cuando viajan los alumnos de secundaria y bachillerato.

### B. Zona norte de Amealco

Para la zona Norte, los servicios prioritarios a los que hay que resolver sus problemas de acceso son: el transporte y la salud, los cuales en conjunto agrupan el 78% de los problemas de acceso (ver Figura 7).

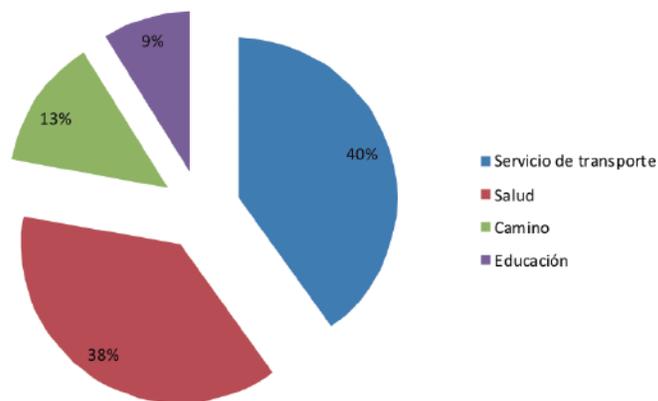


Figura 7. Jerarquización de los problemas prioritarios por sector o servicio para la Zona Norte de Amealco

Efectivamente, el servicio de transporte acumula el 40% del total de los problemas de acceso mencionados por los informantes clave, y en segundo lugar es el servicio de salud con el 38%. Los demás problemas de acceso se distribuyen en los servicios relacionados con caminos y educación.

En relación al servicio de transporte, los problemas de acceso se concentran en tres áreas:

1. Mejorar el servicio de transporte que opera entre las comunidades. Efectivamente, los informantes clave mencionan que se necesitan hacer mejoras relacionadas con la tarifa (que es cara); que aumente la frecuencia del servicio y se ajuste el horario de las rutas de transporte a las necesidades de los usuarios y, finalmente, en aumentar la capacidad de las unidades.

2. Proveer de servicio de transporte público (conocido popularmente como los micros”) en aquellas comunidades que carecen del mismo.

3. Proveer de servicio de transporte escolar para secundaria y bachillerato. Esta necesidad se debe a que el gasto de transporte para que viajen los jóvenes a la secundaria o bachillerato es muy oneroso para el bajo ingreso de las familias rurales de la región. Ver Figura 8.

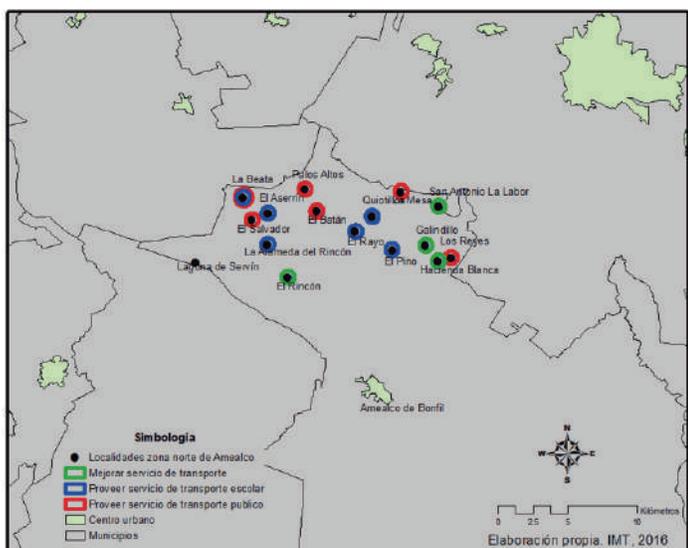


Figura 8. Comunidades con problemas del servicio de transporte en la zona Norte

Con respecto al servicio de salud, se tiene que los principales problemas de acceso a dicho servicio son:

en primer lugar, la falta de transporte para ir al médico; en segunda posición la falta de personal médico calificado y, por último, la falta de medicamentos.

### C. Zona Poniente de Amealco

Para la zona Poniente los servicios más apremiantes a los que hay que resolver sus problemas de acceso son: la salud y el transporte, los cuales en conjunto agrupan el 69% de los problemas de acceso (ver Figura 9). Efectivamente, el servicio de salud acumula el 41% del total de los problemas de acceso mencionados por los informantes clave, y en segundo lugar es el servicio de transporte con el 28%. Los demás problemas de acceso se distribuyen en los servicios relacionados con caminos y educación.

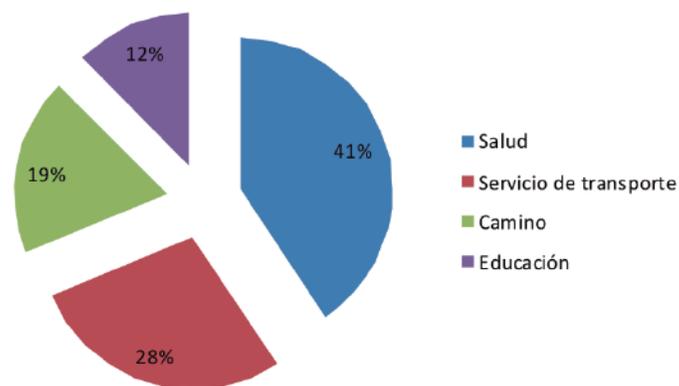


Figura 9. Jerarquización de los problemas prioritarios por sector o servicio para la zona Poniente de Amealco.

Con respecto al servicio de salud, se tiene que los principales problemas de acceso a dicho servicio son: en primer lugar, la falta de personal médico calificado; en segunda posición, la falta de medicamentos, en tercer lugar, que la instalación de salud está demasiado lejos y, en cuarto lugar, el que no hay transporte. Por lo tanto, se puede concluir que las soluciones al problema de acceso al servicio de salud deben estar dirigidas a la mejora del servicio relacionado con la cantidad del personal médico y las medicinas.

Con el perfil de acceso obtenido anteriormente, se generaron mapas de la cobertura del servicio de salud, para tener con mayor claridad qué instalaciones de salud deben ser mejoradas en el problema de acceso de falta de personal médico calificado y de medicinas.



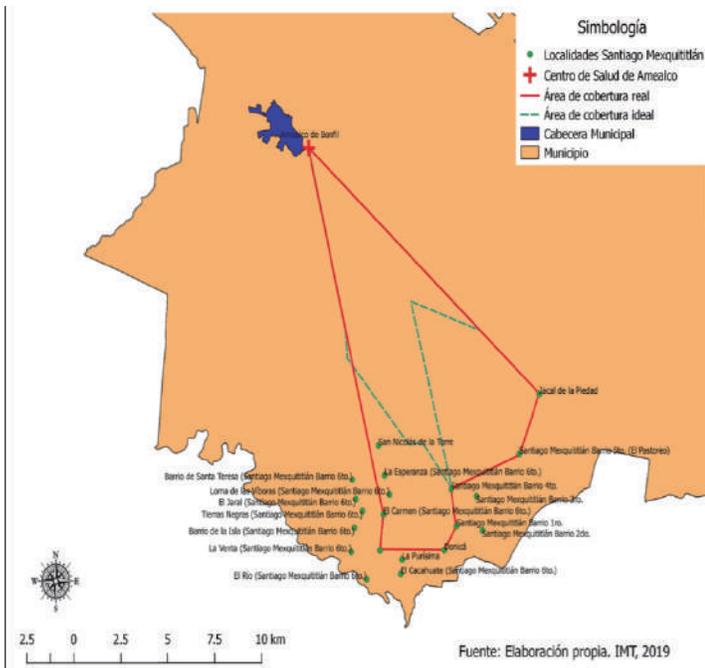


Figura 12. Cobertura del centro de salud de Amealco en la microrregión de Santiago Mexquititlán

Con respecto a los caminos de terracería, se debe mejorar la superficie de rodamiento debido a que se dificulta el tránsito por los mismos en épocas de lluvias (lodosos) y en secas (baches), limitando el acceso de las pobladores rurales a diferentes servicios como educación y salud, provisión de artículos de primera necesidad, llevar a cabo trámites gubernamentales, además de que se limita el recorrido de las rutas de transporte público al interior de las comunidades, ver Figura 13.

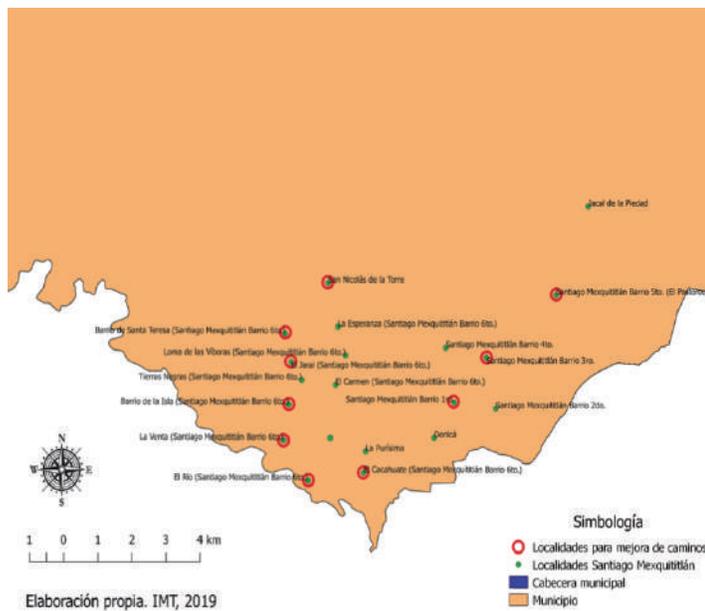


Figura 13. Comunidades con caminos de terracería que requieren mejora en la microrregión de Santiago Mexquititlán

#### IV. SOLUCIONES PROPUESTAS

Una vez con los resultados obtenidos, se diseñaron las siguientes propuestas de solución:

Para el servicio de salud: Realizar un estudio de modelo de cobertura usando tiempos de recorrido obtenidos de los cuestionarios de PIAR y la cantidad de pobladores de la microrregión. Este estudio pretende aplicar una herramienta de localización de instalaciones para proveer la mayor cobertura territorial posible para atender la demanda de servicios de salud. Este trabajo sería realizado por el Instituto Mexicano del Transporte con la aprobación del Gobierno Municipal.

Para el servicio de transporte: Realizar un estudio técnico sobre movilidad regional en la zona poniente de Amealco, el cual pretende determinar la estructura, las características y la densidad de los flujos locales de pasajeros en dicha zona; además de elaborar recomendaciones tendientes a mejorar la movilidad y accesibilidad de los pasajeros en la zona. Este trabajo podría ser realizado por el Instituto Mexicano del Transporte con el apoyo de los recursos financieros y equipo necesarios para su ejecución.

Para el mejoramiento de caminos de terracería: Realizar el proyecto “Sostenibilidad de la infraestructura de transporte rural”, el cual pretende aplicar una metodología de planeación participativa donde se puedan mejorar puntos críticos de los caminos de terracería que se encuentran en malas condiciones. Este trabajo sería realizado por el Instituto Mexicano del Transporte en colaboración con el Gobierno Municipal de Amealco.

#### V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos por la aplicación de la PIAR, se puede concluir que se cumplieron con los dos objetivos descritos en este artículo.

Efectivamente, con respecto al primer objetivo: Usar una metodología de planificación participativa (comunidades rurales-autoridades locales/federales) en tres microrregiones rurales del municipio de

Amealco, Querétaro que permita la obtención de información empírica, para el análisis del problema multisectorial de las necesidades de acceso de hombres y mujeres hacia los puntos oferentes de los bienes y servicios básicos disponibles, se cumplió al 100%, ya que se logró identificar claramente los sectores que las comunidades rurales consideran prioritarios y en los cuales se concentra el 70-80% de los problemas de acceso. Además, de que la presencia de funcionarios del gobierno municipal en las reuniones comunitarias fue clave para que los informantes tuvieran la confianza de responder el cuestionario básico de la PIAR.

Con relación al segundo objetivo: Priorizar los problemas de acceso hacia los puntos oferentes de bienes y servicios básicos y elaborar propuestas de solución de bajo costo y factibles de llevarse a cabo, se cumplió al 100%, ya que al conocerse los sectores prioritarios se pueden dirigir de una manera eficiente los recursos locales (humanos, materiales y financieros) para mejorar los problemas de acceso, además de la identificación de propuestas de solución que se pueden llevar a cabo.

Es importante destacar, que a través de las reuniones comunitarias con las autoridades municipales y los subdelegados de las comunidades, se dio la planificación participativa de una manera efectiva, ya que los presentes validaron los resultados obtenidos de la aplicación de la PIAR. Con esto se puede concluir, que la herramienta PIAR efectivamente involucra a los interesados en conocer sus problemas de acceso y diseñar propuestas de solución que sean factibles.

## REFERENCIAS

- [1] Donnges, Chris, “Improving Acces in Rural Areas. Guidelines for Integrated Rural Accessibility Planning”, International Labour Office, Bangkok, Thailand, 2003.
- [2] Balbuena Cruz, José Alfonso, José Alejandro Ascencio Laguna, Agustín Bustos Rosales, Alma Rosa Zamora Domínguez, “Planificación Integral del Acceso Rural. Estudio piloto en la microrregión de San Ildefonso Tultepec, Amealco, Querétaro”, informe de investigación, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México, 2016.
- [3] Balbuena Cruz, José Alfonso, Alma Rosa Zamora Domínguez, José Alejandro Ascencio Laguna, Agustín Bustos Rosales, “Planificación Integral del Acceso Rural. Zona norte del municipio de Amealco”, informe de investigación, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México, 2016.
- [4] Balbuena Cruz, José Alfonso, Alma Rosa Zamora Domínguez, José Alejandro Ascencio Laguna, Agustín Bustos Rosales, “Planificación Integral del Acceso Rural. Zona poniente del municipio de Amealco”, informe de investigación, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México, 2018.
- [5] Balbuena Cruz, José Alfonso, Agustín Bustos Rosales, Alma Rosa Zamora Domínguez, José Alejandro Ascencio Laguna, “Planificación Integral del Acceso Rural. Microrregión de Santiago Mexquititlán”, informe de investigación, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México, 2019
- [6] Cartier Van Diessel, Serge (Ed.), “Planificación Integral del Acceso Rural-PIAR”, OIT/Oficina Subregional de los Países Andinos, Lima, Perú, 2005.
- [7] “Decreto por el que se emite la Declaratoria de Zonas de Atención Prioritaria para el año 2017”, Diario Oficial de la Federación, 30 de noviembre de 2016. México.

# Aplicación de heurístico para la asignación de rutas de distribución de mercancía: caso de estudio

Martha Felicitas Quiroz Flores  
Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMéx  
Toluca, México  
mf.quirozff@gmail.com

Lourdes Loza-Hernández  
Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMéx  
Toluca, México  
llozahe@gmail.com

---

*Resumen—Los problemas de ruteo de vehículos (VRP) tienen diversas aplicaciones en la industria debido a que son importantes para el correcto funcionamiento de los sistemas logísticos y con frecuencia son tratados como problemas de interés económico, porque buscan generar soluciones que minimicen aspectos como: el tamaño de las rutas, el número de vehículos, los tiempos de traslado, etc.; los cuales impactan financieramente en las compañías. En la empresa caso de estudio, actualmente no se cuenta con una gestión adecuada de recursos, ya que la forma en que se asignan las rutas de transporte es de acuerdo con la experiencia de los trabajadores, quienes desconocen los requerimientos de los puntos de entrega, ocasionando entregas fuera de tiempo o entregas incompletas. Con el fin de cumplir los requerimientos de los puntos de entrega, es necesario proponer un plan de distribución que garantice las entregas de los requerimientos al menor costo. El heurístico de Clarke & Wright es aplicado a la red de distribución de mercancías para disminuir los costos de transporte de la empresa, y proponer una solución factible a los problemas del ruteo de vehículos, además de presentar al personal de la empresa una herramienta de toma de decisión para un mejor aprovechamiento de la flota de vehículos.*

*Palabras Clave— Problema de ruteo de vehículos, Clarke & Wright algoritmo, distribución de mercancías.*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria se compone de una serie de redes logísticas cuya optimización desempeña un papel importante frente a la sostenibilidad de las empresas. A lo largo de los años se han planteado diversos métodos para solucionar los problemas de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem o VRP) los cuales permiten diseñar rutas de entrega a menor costo.

Este caso de estudio tiene como objetivo encontrar las rutas que minimice el costo de transportar mercancías desde un depósito central hacia un conjunto puntos de entrega, respetando las restricciones de capacidad de los vehículos.

El modelo es conocido como problema de ruteo vehicular capacitado (Capacited Vehicle Routing Problem o CVRP), ya que cuenta con una flota vehicular con capacidad limitada, además de las características propias de un problema de ruteo (Vehicle Routing Problem o VRP).

Para obtener una solución factible se implementa el uso de la heurística Clarke & Wright o también conocida como Método de Ahorros, denominado así porque en su ejecución se generan matrices de ahorro de distancias para obtener mejores soluciones en cada paso de su ejecución.

De esta manera se generan rutas que mejoran el uso de los recursos disponibles de la empresa, minimizando la distancia a recorrer por cada vehículo y los costos del uso del vehículo que es utilizado en cada recorrido.

El documento contiene cuatro apartados, el siguiente a este es el apartado dos en el que se muestra la metodología a utilizar en el desarrollo del trabajo; el apartado tres presenta las características del objeto de estudio y finalmente en el apartado cuatro se muestran las conclusiones.

## II. METODOLOGÍA

### A. Vehicle Routing Problem (VRP)

El VRP es uno de los problemas de optimización combinatoria

más famosos. Dantzig y Ramser introdujeron el VRP basado en problema de entrega de gasolina, donde proponen una formulación de programación matemática y un algoritmo para VRP [1]. Desde entonces, el VRP ha dado lugar a un campo bien conocido e importante en la Investigación de Operaciones.

Generalmente, el VRP se aplica en el transporte de mercancías entre clientes y depósitos. Todos los vehículos deben arrancar y regresar al depósito. Cada cliente solo puede ser visitado una vez. El objetivo del VRP es generar un conjunto mínimo de rutas que satisfagan la demanda de todos los clientes. El VRP es fácil de afirmar y entender, mientras que es difícil de resolver en el mundo real, especialmente combinado con otras restricciones prácticas. En el dominio del VRP, hay numerosos problemas con restricciones específicas [2].

El tiempo y esfuerzo computacional requerido para resolver este problema aumenta exponencialmente respecto al tamaño del problema, debido al conjunto de restricciones construidas por la cantidad de nodos a ser visitados por los vehículos. Para este tipo de problemas a menudo es deseable obtener soluciones aproximadas y buenas, así como rápidamente para llegar a ser útiles en la toma de decisiones [3].

Los problemas de ruteo de vehículos son tan variados en la industria debido a la amplia gama de situaciones, múltiples restricciones y la complejidad de los problemas que cada industria tiene. Para estos problemas existen variantes que los caracterizan para su aplicación, sin embargo, de forma generalizada sus principales elementos son tres para un VRP:

- Clientes.
- Vehículos.
- Depósitos.

Cuando se tienen diferentes puntos de entrega, da a lugar a diferentes características de los clientes, depósitos y vehículos, además las distintas restricciones que se presentan dan origen a distintas variantes del VRP, por lo que la asignación de rutas es siempre distinta y aún más porque el VRP es dinámico

derivado, en algunos casos, del momento en el que se toman las decisiones.

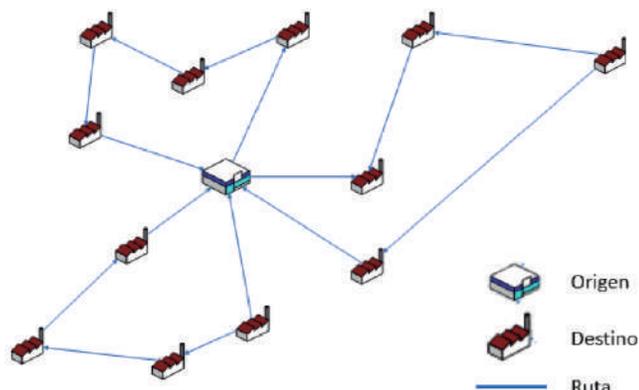


Figura 1. Red de distribución.

El VRP es conocido por ser un problema computacional complejo en donde se han propuesto diferentes algoritmos exactos y heurísticos [4] para encontrar soluciones factibles. Los algoritmos utilizados para la resolución del problema de ruteo de vehículos son variados en términos de procedimientos, tiempos de resolución y enfoque con miras al mejoramiento del uso de los recursos, así como el tipo de algoritmo que se utiliza.

No se puede garantizar que un algoritmo exacto encuentre recorridos óptimos dentro de un tiempo de computación razonable cuando el número de destinos es grande, esto debido a la complejidad del problema, por esta razón se recomienda el uso de algoritmos heurísticos y metaheurísticos para la solución de este problema. Considerando que los casos reales del VRP con frecuencia exceden cientos de vértices que las soluciones a menudo deben ser determinadas rápidamente, la mayoría de los algoritmos utilizados en la práctica son heurísticos [5].

La versión básica del VRP es el VRP Capacitado (CVRP) [6], el cual, por las características de la empresa, será utilizado en este caso de estudio.

En el CVRP a todos los clientes se les entrega mediante demandas determinísticas que son conocidas con antelación. La flota vehicular tiene como origen un depósito central, y la restricción está

dada por la capacidad de los vehículos. El objetivo es minimizar el costo total por atender a todos los clientes.

### B. Heurística de Clarke & Wright

Es la heurística clásica más significativa para el VRP. Esta heurística es un procedimiento simple que realiza una exploración limitada del espacio de búsqueda y da una solución de calidad aceptable en tiempo de cálculo moderado.

El heurístico es aplicado en la red de distribución del caso de estudio, con el fin de buscar rutas factibles y tener un costo mínimo total.

A continuación, se describe el procedimiento del algoritmo de Clarke & Wright, así como las variables, constantes e índices utilizados durante su ejecución [7].

- $i$  nodo denominado como cliente inicial
- $\forall i = 1, 2, 3, \dots, n$
- $j$  nodo denominado como cliente final.
- $\forall j = 1, 2, 3, \dots, n; i \neq j$
- $n$  cantidad de nodos.
- $O$  nodo inicial y nodo final.
- $D_{ij}$  matriz de distancia entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ .
- $S_{ij}$  matriz de ahorros entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ .
- $R_i$  ruta a la que pertenece el nodo  $i$ .
- $R_j$  ruta a la que pertenece el nodo  $j$ .

### 1) Pasos para la creación del algoritmo de Clarke & Wright

#### Paso 1

Crear la matriz de ahorros  $S$ , usando la expresión:

$$S_{ij} = D_{oi} + D_{oj} - D_{ij}; \forall i, j = 1, 2, \dots, n \cdot i \neq j$$

Crear  $n$  rutas de la forma  $(o, i, o), \forall i = 1, 2, \dots, n$

Crear una matriz  $S^* = S$ .

## Paso 2

Escoger el máximo valor de la matriz  $S_{ij}$ ;

$$\text{Max } S_{ij} = S_{i^*j^*}$$

Si  $i^*$  es el último cliente visitado en la ruta  $R_{i^*j^*}$ , es el primer cliente visitado en la ruta  $R_{i^*}$  y se cumplen todas las restricciones:

- Unir la ruta  $R_{i^*}$  con la ruta  $R_{j^*}$ .
- Asignar  $S \leftarrow S'$ .
- Eliminar los arcos  $S_{i^*j^*}$  ya utilizados en las rutas creadas.

Caso Contrario eliminar  $S_{i^*j^*}$  de la matriz  $S$ .

## Paso 3

Si  $S \neq 0$ , ir al paso 2; caso contrario FIN.

## III. CASO DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolla en una empresa minorista, la cual cuenta con un centro de distribución desde donde se envía la mercancía a los puntos de venta.

La asignación de rutas para la entrega de mercancía es de acuerdo con la experiencia del personal que realiza la actividad, sin seguir métodos cuantitativos que permitan una asignación de los recursos adecuada, y que además consideren la capacidad de los vehículos, distancias y tiempos de traslado.

El personal asignado a esta actividad no aplica un método para la planeación de las rutas de los vehículos, por lo que no tiene una herramienta de toma de decisiones que le permita visualizar donde iniciar la entrega de mercancía y donde terminar la ruta definida; esta actividad la realizan de manera empírica, lo cual implica descuidar a los puntos de venta que tienen una mayor demanda u ocasionar entregas incompletas, originando un nivel de servicio irregular e incrementar los costos de combustible.

Con el fin de cubrir la demanda de los puntos de entrega, es necesario proponer un plan de distribución que garantice las entregas de los pedidos a tiempo.

La aplicación de métodos cuantitativos como herramientas que permitan la definición de rutas para la distribución de mercancías permite reorganizar la forma actual de operación de las empresas, generando ahorros en los costos, tiempo de distribución, uso de mano de obra y transporte.

La empresa requiere un análisis del problema de ruteo de vehículos para modificar su red de distribución y obtener una adecuada planificación de sus recursos que permita minimizar los costos de transporte, considerando la demanda de los puntos de venta y respetando la capacidad de los vehículos.

Para ello, se analizan 29 destinos, considerando que se cuenta con una flota de arrendamiento de 6 vehículos con capacidad de 2 toneladas, para satisfacer la demanda de cada uno de los puntos de venta de la empresa, información obtenida de personal del área de distribución.

Como resultado de este análisis se determina la cantidad de rutas y el orden de visita a los puntos de venta que mejora el uso de los recursos. Por lo tanto, los datos necesarios para aplicar el heurístico son:

- Entradas: distancia entre cada punto de venta y el centro de distribución (matriz de distancias).
- Salidas: rutas definidas con los mejores ahorros.

Los datos adicionales para identificar las mejores rutas y satisfacer las restricciones del caso de estudio son:

- Demanda de cada uno de los puntos de venta.
- Costos de combustible.
- Tamaño de la flota de vehículos a utilizar.
- Capacidad de los vehículos.

### A. Parámetros del algoritmo

A continuación, se describirán los parámetros utilizados para resolver el problema de ruteo mediante el algoritmo Clarke & Wright:

Objetivo: minimizar costos de transporte y diseño de nuevas rutas de reparto.

Tamaño de flota conocido: 6 vehículos con capacidad de 2 toneladas cada uno.

Capacidad por vehículo: se pueden transportar en promedio 125 cajas de mercancía.

Rendimiento: 1 litro de Diesel 9.5 kilómetros aproximadamente.

Un depósito: centro de distribución (CD).

Números de puntos de entrega: 29, ubicados en la zona centro del país, identificados a través de números del 1 al 29.

Demandas: la mercancía es enviada por cajas consolidadas, acorde al tipo de producto, que puede ser ropa, calzado o accesorios. Se cuenta con un estimado promedio de los envíos diarios a cada punto de venta. La demanda es conocida un día antes de la entrega de mercancía en los puntos de venta.

Distancia promedio: se obtuvo con la aplicación de Google Maps [8].

La Tabla I muestra la demanda a entregar en cada punto:

TABLA 1. DEMANDA POR DÍA

Destino	Demanda (Cajas por día)
1	11
2	15
3	10
4	10
5	3
6	7
7	6
8	11
9	11
10	6
11	12
12	10
13	20
14	12
15	5
16	19
17	9
18	4
19	9

20	7
21	8
22	7
23	8
24	24
25	5
26	6
27	11
28	9
29	10

B. Metodología de solución

1) Calculo de distancias

Se hace uso del software Google Maps [9] para calcular las distancias entre todos y cada par de puntos, así como consultar la distancia y el tiempo estimado para llegar de un punto a otro.

Estos datos forman parte de la información básica que necesitan los algoritmos de solución, para proponer las rutas que más tarde se asignarán a los vehículos.

Las distancias entre el origen y cada destino se muestran en la Tabla II.

TABLA 2. DISTANCIA ENTRE ORIGEN Y DESTINO

Origen	Destino	Distancia (Km)
CD	1	73.6
CD	2	60.3
CD	3	66.9
CD	4	75.7
CD	5	60.5
CD	6	14.3
CD	7	75.5
CD	8	10.8
CD	9	91.5
CD	10	58.6
CD	11	65.2
CD	12	11.3
CD	13	58.7
CD	14	81.0
CD	15	68.2
CD	16	68.4
CD	17	55.7
CD	18	43.7
CD	19	83.6
CD	20	109.2
CD	21	59.1
CD	22	77.5
CD	23	69.6
CD	24	61.8
CD	25	60.1
CD	26	61.6
CD	27	39.5
CD	28	66.1
CD	29	67.4

2) *Matriz de distancias*

La Tabla III muestra un ejemplo de la forma en la que fueron calculadas las distancias entre los primeros siete nodos. Las distancias se consideran simétricas solo como muestra para el personal de la empresa, como una prueba de que la aplicación de métodos cuantitativos mejora el desempeño de los recursos disponibles.

TABLA 3. MATRIZ DE DISTANCIAS (KM)

<i>ij</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	...
0		73.6	60.3	66.9	75.7	60.5	14.3	75.5	
1	73.6		21.4	42.1	23.5	24.2	76.1	33.9	
2	60.3	21.4		23.9	29.7	17.4	74.9	27.5	
3	66.9	42.1	23.9		47.4	30.3	72.5	45.9	
4	75.7	23.5	29.7	47.4		12.2	72.6	10.6	
5	60.5	24.2	17.4	30.3	12.2		71.0	9.2	
6	14.3	76.1	74.9	72.5	72.6	71.0		70.1	
7	75.5	33.9	27.5	45.9	10.6	9.2	70.1		
.									
.									
.									

Para la obtención de resultados del algoritmo se realizó el cálculo para los 29 nodos destinos y el origen. Los cálculos fueron realizados en una computadora personal con procesador Intel (R) Core (TM) i5-7200U @ 2.50 GHz 2.7 GHz 8.00 GB.

A través de la hoja de cálculo Microsoft Excel versión 2007, esto con el fin de facilitar el uso del heurístico al personal de la empresa dedicado a esta actividad, ya que la compra de software especializado en ruteo de vehículos no es considerada dentro del presupuesto de la empresa.

3) *Consumo de combustible para determinación de costos de viaje.*

Con base en las características de la flotilla de vehículos, los motores de éstos usan Diesel para funcionar. El consumo (lt/km: 21.03 \$/lt) de Diesel del vehículo fue proporcionado por la empresa de acuerdo con datos históricos de desempeño.

$$\text{Costo de combustible} = \text{Consumo (lt/km)} * \text{Precio de combustible (\$/lt)}$$

Se determinó que para una unidad de transporte el desempeño de recorrido de un kilómetro de distancia equivale a un consumo de 0.16 litro de Diesel. El precio del Diesel se determinó de acuerdo con el precio que sugiere la referencia [10], para el mes noviembre de 2019, el precio por litro es \$21.03. Entonces utilizando los datos

mencionados en la expresión de costo de combustible se tiene que:

$$\text{Costo de combustible} = 0.16 \text{ (lt/km)} * 21.03 \text{ (\$/lt)} = 3.36 \text{ (\$/km)}$$

C. *Aplicación del algoritmo Clarke & Wright y análisis de resultados*

De la matriz de distancias se leen directamente las primeras 29 rutas, todas saliendo del Centro de Distribución y visitando un solo destino. La Tabla 4 muestra la distancias y costos por nodo.

TABLA 4. DISTANCIAS Y COSTOS POR NODO

Ruta	Nodos	Distancia (Km)	Costo (\$)
1	0-1-0	147	\$494.96
2	0-2-0	121	\$405.46
3	0-3-0	134	\$450.21
4	0-4-0	151	\$509.09
5	0-5-0	121	\$406.92
6	0-6-0	29	\$95.90
7	0-7-0	151	\$508.08
8	0-8-0	22	\$72.34
9	0-9-0	183	\$615.98
10	0-10-0	117	\$394.13
11	0-11-0	130	\$438.55
12	0-12-0	23	\$75.71
13	0-13-0	117	\$395.03
14	0-14-0	162	\$544.87
15	0-15-0	136	\$459.18
16	0-16-0	137	\$460.30
17	0-17-0	111	\$374.84
18	0-18-0	87	\$294.08
19	0-19-0	167	\$562.26
20	0-20-0	218	\$735.10
21	0-21-0	144	\$485.20
22	0-22-0	155	\$521.21
23	0-23-0	139	\$468.04
24	0-24-0	124	\$415.55
25	0-25-0	120	\$404.45
26	0-26-0	123	\$414.32
27	0-27-0	79	\$265.82
28	0-28-0	132	\$445.05
29	0-29-0	135	\$453.35

Esta primera solución tiene un recorrido de 3,616 kilómetros y requiere 16 vehículos. De la Tabla 4 de la solución inicial solo se toma en cuenta la distancia recorrida, y se reserva el costo de combustible por kilómetro recorrido, este último valor se multiplica por cada distancia de los nodos de la solución inicial, dando como resultado el costo para cada ruta cuyo impacto total es de \$12,166.

1) *Matriz simétrica de costos*

Para determinar la matriz de costos se utiliza el escalar del costo de combustible, que tiene el valor de 3.36 (\$/km), este valor se multiplica para cada uno de los destinos de la matriz simétrica de distancias, resultando la siguiente matriz. La Tabla V muestra el resultado de los cálculos para los primeros ocho nodos:

TABLA 5. MATRIZ SIMÉTRICA DE COSTOS (\$/KM)

<i>ij</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	...
0		247	203	225	255	203	48	254	36	
1	247		72	142	79	81	256	114	255	
2	203	72		80	100	59	252	93	237	
3	225	142	80		159	102	244	154	230	
4	255	79	100	159		41	244	36	243	
5	203	81	59	102	41		239	31	199	
6	48	256	252	244	244	239		236	19	
7	254	114	93	154	36	31	236		195	
8	36	255	237	230	243	199	19	195		
.										
.										
.										

2) *Ahorros potenciales de la matriz de costos*

La forma en la que se realiza el cómputo para arco de la ruta se ejemplifica a través del proceso realizado para el arco 1-2. El cálculo del ahorro es el siguiente:

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij}$$

$$i=1 \quad j=2$$

$$C_{0i}=C_{01}=247 \quad C_{0j}=C_{02}=203 \quad C_{ij}=C_{12}=72$$

$$S_{ij}=S_{12}=247+203-72$$

$$S_{ij}=S_{12}=378$$

Este cálculo se realiza para toda la matriz y se obtienen los siguientes datos, la Tabla VI muestra los ahorros para los primeros nueve nodos:

TABLA 6. MATRIZ DE COSTOS

S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
1	378	331	423	370	39	387	28	461	359	
2	133	51	95	76	94	90	60	121	127	
3	21	37	88	19	87	37	31	110	92	
4	220	159	278	147	178	178	59	126	206	
5	46	46	85	43	95	108	105	70	10	
6	34	420	60	61	90	335	26	0	51	
7	59	166	447	308	131	227	484	446	430	
8	60	36	80	293	31	4	66	18	72	
9	378	331	423	370	39	387	28	461	359	
.										
.										
.										

3) *Ordenar los ahorros de mayor a menor (Tabla 7)*

TABLA 7. AHORROS ORDENADOS

Arco	Ahorro (MXN)
S9-22	\$540
S1-20	\$523
S9-20	\$522
S9-21	\$487
S7-14	\$484
.	.
.	.
.	.
S11-16	\$1
S12-21	\$1
S17-23	\$0

4) *Rutas generadas por el algoritmo Clarke & Wright*

El primer arco que se analiza es el 9-22, que genera la ruta: 0-9-22-0 con un costo acumulado de: 308 + 38 + 261 = \$ 607, y con una demanda a cubrir de: 11 + 7 = 18 cajas. Esta ruta es factible, pues respeta las restricciones del problema y mejora la solución anterior.

La Tabla VIII contiene las rutas que se generaron al utilizar el algoritmo de ahorros. Como se puede observar, de las 29 rutas que se tenían en la primera solución, con este algoritmo se generaron 3 rutas las cuales cumplen con las restricciones de capacidad.

TABLA 8. RUTAS GENERADAS POR EL ALGORITMO

Ruta	Nodos	Capacidad utilizada	Costo Total (MXN)
1	0-9-22-16-24-29-1-20-21-7-14-15-23-19-10-0	100%	\$1,503
2	0-6-8-2-29-13-26-4-5-17-25-27-12-0	94%	\$744
3	0-11-28-3-18-0	28%	\$539

5) *Nueva red de distribución*

La solución final del método de Clarke & Wright consiste en 3 rutas que acumulan un costo total de recorrido de

\$2,786, la cual mejora a la primera solución que mantenía un costo total de recorrido de \$12,166, con una distancia total recorrida de 539.6 km, la cual puede ser transitada dentro del horario de trabajo del personal de distribución de mercancía.

Además, el número de vehículos disminuye a 3 unidades, respetando en todas las rutas las restricciones de no llevar más de 125 cajas.

Con base en los beneficios obtenidos se propone a la empresa la alternativa de implementar el algoritmo de Clarke & Wright en la actividad de la distribución de mercancía, ya que proyecta el ahorro mensual por la asignación de rutas, además de considerar los ahorros en los costos de arrendamiento, si sólo se utilizan 3 vehículos en lugar de los 6 que se tienen en el contrato establecido por la empresa.

#### IV. CONCLUSIONES

El VRP es un problema altamente combinatorio por lo que la búsqueda de una solución óptima se vuelve un problema desafiante. Para encontrar una solución óptima se requiere de algoritmos que consumen un tiempo de cómputo elevado. El VRP está dentro de los problemas en los que un aumento en el número de nodos supone un aumento exponencial del tiempo de ejecución, y rápidamente sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes, por lo que el utilizar un algoritmo que sacrifique la solución óptima por un menor tiempo de ejecución, como es el caso del algoritmo de Clarke & Wright reduce el tiempo y nos da una solución aceptable.

Es importante aclarar que los datos analizados pertenecen a una demanda diaria promedio, por lo cual el resultado obtenido de la aplicación del heurístico Clarke-Wright no siempre va a ser el mismo debido a que la demanda no es constante. Con base en el análisis de resultados se demuestra que la aplicación del heurístico permite una mejora en el uso de los recursos y apoya en la toma de decisión del personal correspondiente en la empresa, ya que, si bien la práctica empírica prevalece en algunas empresas, es necesario mostrar mediante aplicaciones prácticas que

las herramientas que ofrecen los métodos cuantitativos de la Cadena de Suministro permiten una mejor toma de decisión.

Aplicando el heurístico de Clarke & Wright se mejora el uso de los recursos de la empresa, tales como: fuerza laboral, vehículos en uso y suministros, ya que ahora los vehículos tendrán un mejor porcentaje de utilización y podrán ser canalizados para otra actividad que amerite su uso (desempeño del vehículo).

En relación con los resultados obtenidos, se concluye que: con la aplicación del algoritmo de ahorros presentado por el problema de distribución de la empresa, se logra:

Cumplir con el objetivo planteado: mejorar la red de distribución

Disminuir del número de vehículos en ruta de entrega

Aprovechar al máximo la flota de vehículos

Generar 3 rutas factibles de acuerdo con el algoritmo de ahorros

Aplicación métodos cuantitativos como herramientas que permitan la definición de rutas para la distribución de mercancías

Reorganizar la forma actual de operación de las empresas, generando ahorros en los costos.

El desarrollo de este trabajo sirve como herramienta a los tomadores de decisiones del área de distribución de mercancías de la empresa caso de estudio. La ejecución del heurístico fue desarrollada bajo el uso de tecnologías de información al alcance del presupuesto de la empresa y de fácil manejo para el personal que ejecuta esta actividad, lo anterior con el objetivo de motivar el uso de nuevas tecnologías y métodos cuantitativos para facilitar las actividades cotidianas y mejorar el uso de los recursos cubriendo al mismo tiempo las expectativas del cliente (puntos de venta) dándole un mejor servicio.

## REFERENCIAS

[1] Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959) 'The Truck Dispatching Problem', *Management Science*, 6(1), pp. 80–91.

[2] Li, X. (2015) 'Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: A Case Study on Pickup of Dietary Products in Nonprofit Organization', *ProQuest Dissertations and Theses*, (July), p. 87.

[3] Lüer, A. et al. (2009) 'El problema de rutas de vehículos: Extensiones y métodos de resolución estado del arte', *CEUR Workshop Proceedings*, 558(September 2014).

[4] Nazari, M., Oroojlooy, A., Takáč, M., & Snyder, L. V. (2018). Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2018-December, 9839–9849.

[5] Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408–416.

[6] Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing*. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, 1–69. [https://doi.org/ISBN 978-1-611973-58-7](https://doi.org/ISBN%20978-1-611973-58-7)

[7] Clarke, G. and Wright, J.R. (1964) Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581. <http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

[8] Sanchez, F. (2015). Aplicación del modelo VRP (Vehicle Routing Problem) para la optimización de una red de distribución. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 36-39.

[9] Google (2019). Mapa de México en Google Maps. Copyright 2019 INEGI Google. <https://www.google.com.mx/maps>. Consultado 10 de Noviembre de 2019.

[10] Intermodal México (2019). Histórico de precios de diesel, Copyrights © 2016. <http://www.intermodalmexico.com.mx/Portal/AjusteCombustible/Historico>. Consultado 10 de Noviembre de 2019.

# Aplicación del algoritmo Clarke & Wright bajo dos enfoques para minimizar recursos

Josué Rojas Rodríguez  
Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMéx  
Toluca, México  
josuerojas092@gmail.com

Lourdes Loza-Hernández  
Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMéx  
Toluca, México  
llozahe@gmail.com

---

*Resumen—Uno de los problemas relevantes en la cadena de suministro es la selección de rutas que permiten minimizar los costos por transportación, ya que cualquier afectación en la ruta podría impactar directamente en el desempeño de la cadena. La aplicación de métodos cuantitativos que optimizan el uso de los recursos en cada eslabón, apoya a mejorar el servicio de la cadena de suministro. El algoritmo heurístico de Clarke & Wright propone un conjunto de rutas que minimizan los costos totales de transporte. El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo determinar las mejores rutas de distribución de producto terminado bajo dos enfoques: el primero considera el costo por unidad enviada y el segundo la mínima distancia entre dos puntos de distribución. El estudio se desarrolla en una empresa del sector alimenticio, cumpliendo con restricciones de tiempo de entrega (derivado del tiempo de vida del producto) y de distancia recorrida por el vehículo asignado a la distribución del producto. La red de distribución se compone de nodos finales y un nodo central. En el análisis de las rutas se considera la demanda por nodo, costo de peajes, costo de combustible y espacio ocupado en los contenedores. Los resultados obtenidos con la aplicación del algoritmo Clarke & Wright arrojaron rutas que minimizan el costo total de transportación, los kilómetros totales recorridos, la cantidad de producto distribuida, el espacio ocupado en los contenedores, el total de remolques a utilizar y el número de personal requerido.*

*Palabras Clave— Algoritmo Clarke & Wright, distribución de mercancía, costo total de transportación, selección de rutas, costo por unidad enviada.*

## I. INTRODUCCIÓN

El problema de ruteo de vehículos (VRP) ha sido uno de los temas con mayor interés para las redes de distribución y desde su formulación en 1959 [1], se han considerado diferentes aspectos, los cuales parten de los problemas que son observados en la vida real. El VRP consiste en realizar visitas o entregas en todos los puntos por los que está compuesto la red de distribución, sin generar subtours, cumpliendo las restricciones del sistema y regresando al punto de origen.

Una de las formas para solucionar el VRP es a través de la aplicación de heurísticos, los cuales permiten llegar a soluciones factibles cercanas a los resultados óptimos. Los autores Clarke & Wright establecieron en 1964 [2] un método que permite enlazar diferentes puntos de entrega considerando los ahorros generados a través de la ruta entre estos puntos, sin exceder la capacidad de carga. El algoritmo Clarke & Wright genera rutas mediante el cálculo de ahorros entre nodos, este algoritmo posee las ventajas de ser intuitivo, fácil de implementar y rápido al obtener su solución [3].

Trabajos relacionados con la aplicación del algoritmo Clarke & Wright (C-W) muestran la versatilidad del heurístico para encontrar soluciones factibles, por mencionar algunos: [4] desarrolla su trabajo mediante el uso del algoritmo C-W para determinar las rutas de distribución de medicamento que generan los mayores ahorros para una farmacéutica. [5] logró demostrar que con la aplicación del algoritmo C-W se obtuvo la reducción del costo total para transportar bienes en un 30.57%, así como reducir la cantidad de vehículos utilizados. [6] mediante la ejecución del algoritmo C-W fueron capaces de utilizar la capacidad máxima de cada autobús disponible y por lo tanto reducir el número de autobuses utilizados, también minimizaron el recorrido, la duración y el número de paradas.

[7] Reafirma el hecho de que el algoritmo C-W es rápido y relativamente fácil de implementar, sin embargo, debido a su naturaleza posee la ventaja de que, a partir de los resultados obtenidos de manera directa, éstos funcionan como base para ejecutar

diferentes procedimientos que pueden lograr resultados aún más precisos y de calidad. El algoritmo C-W también presenta la bondad de ser susceptible a modificaciones que permiten obtener mejores resultados, sin alterar totalmente la estructura original de la ecuación. [8] resalta que varios autores coinciden en la importancia de la calidad de los heurísticos iniciales para el desarrollo de meta-heurísticos. [9] presenta un mejoramiento al algoritmo C-W a través de reducción de dominios, en el cual valores innecesarios son borrados del dominio mediante un enfoque basado en lógica. [9] plantea un problema de ruteo y localización con múltiples nodos y múltiples vehículos, sin embargo, cuando la red se vuelve grande, afirma que los métodos heurísticos son la única forma resolver el modelo bajo esa situación y utiliza el algoritmo C-W para validar el modelo.

[11] A través del mejoramiento del algoritmo C-W lograron resultados cercanos a los óptimo y en algunos casos obtuvieron el resultado óptimo en menos tiempo, utilizaron como base los resultados derivados del algoritmo C-W en su versión paralela, combinado con su enfoque ajustado de dos operadores genéticos, incluyendo la selección por torneo y ruleta.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la sección II se hace una breve descripción del algoritmo Clarke & Wright; en la sección III se explica el caso de estudio bajo el cual fue aplicado el algoritmo C-W; en la sección IV se muestran los resultados obtenidos, así como las rutas sugeridas, y en la última sección se encuentran las conclusiones.

## II. METODOLOGÍA

El algoritmo de Clarke and Wright también es conocido como el método de los ahorros, debido a que su objetivo es minimizar la distancia total recorrida por los vehículos e indirectamente, también minimiza el número de vehículos necesarios para cubrir las necesidades de la red de distribución [12]. La lógica consiste en iniciar con un vehículo, el cual simulara la cobertura de cada nodo de la red de distribución y regresa al origen, lo cual determina la distancia máxima [12].

La filosofía del algoritmo consiste en: conectar todos los clientes (nodos) de dos en dos con el almacén (nodo central) y calcular los ahorros obtenidos por el costo de transportación, clasificar las alternativas de conexión (arcos) por ahorros decrecientes, utilizar la conexión que permite el máximo ahorro [13] y que al mismo tiempo cumpla con los requerimientos del sistema.

El heurístico inicia construyendo rutas de ida y vuelta para cada nodo y las fusiona gradualmente aplicando el criterio de ahorro entre cada nodo, en concreto, fusiona las rutas en una sola lo cual genera un ahorro [3]. Para determinar los nodos que se van a combinar en una ruta, se calcula la distancia ahorrada, antes y después de la combinación mediante la siguiente ecuación [3]:

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{j0} - C_{ij}$$

Donde

- i = nodo inicial de la ruta
- j = nodo final de la ruta
- 0 = nodo origen

De esta manera se comienza a generar la tabla de ahorros entre cada nodo de la red de distribución, la cual deberá ser ordenada de forma descendente, posteriormente en conjunto con los requerimientos del sistema o las políticas que se desean satisfacer, se comienzan a trazar rutas hasta que dejan de ser factibles.

Asimismo existen pasos preestablecidos que permiten aplicar el algoritmo C-W, de tal forma que todos los nodos son considerados dentro de la red de distribución y tienen como resultado el menor costo por transportación, en la tabla 1 se describen los pasos:

**TABLA 1. PROCEDIMIENTO PARA APLICACIÓN DEL ALGORITMO CLARKE & WRIGHT [14]**

Aplicación Algoritmo Clarke & Wright	
Paso 1	Calcular los ahorros $S_{ij} = C_{0i} + C_{j0} - C_{ij}$ para todos los pares de nodos $i$ y $j$ .
Paso 2	Ordenar los ahorros en orden descendente.
Paso 3	Empezando por el principio de la lista ordenada, ejecutar los siguientes pasos:
Paso 4	Buscar el primer arco factible según las restricciones impuestas al problema de diseño de rutas (capacidad de vehículos, número de vehículo, etc.), que puede usarse en expandir uno de los dos extremos de la ruta en construcción.
Paso 5	Si la ruta no puede extenderse más, terminarla. Escoger el primer arco factible en la lista ordenada para empezar una ruta nueva.
Paso 6	Repetir los pasos 4 y 5 hasta que no se puedan elegir más arcos.

### III. APLICACIÓN DEL MÉTODO A UN CASO DE ESTUDIO

Actualmente la empresa del caso de estudio realiza la asignación de rutas conforme a la experiencia del personal, prefiriendo rutas que normalmente utilizan o bien que han trabajado durante años, destaca la presencia de dos zonas: sureste y noroeste, por lo que, la asignación se realiza tratando de enlazar nodos dentro de estas zonas.

La empresa no cuenta con una herramienta cuantitativa de apoyo en la distribución de productos y el cumplimiento de la demanda de los nodos se atiende, tratando de utilizar el transporte a su máxima capacidad, con la finalidad de aprovechar los viajes realizados.

Así mismo se carece de una estadística de costos y no cuentan con un registro histórico de los costos incurridos por la asignación actual de rutas, lo cual no permite tener una comparación entre los costos generados contra la propuesta del enfoque de mínima distancia y CUE.

No hay un indicador que permita medir el costo por caja enviada, el cual podría ayudar al personal a conocer si se está aprovechando correctamente el espacio disponible.

La empresa elabora 168 productos alimenticios en México, de los cuales mediante un análisis ABC, los productos del tipo “A” representan el 20% del total y son los más importante dentro del sistema, [15] enfatiza que se debe poner mayor atención a este tipo de productos, debido al impacto que tiene, tanto en las ventas como en el manejo de los productos; los productos tipo “B” representan el 30% y por último los tipo “C” corresponden al 50% del total.

Con base en la cantidad de producto distribuida, la cual se mide por el número de cajas distribuidas durante una semana laboral (lunes a viernes), el análisis ABC arrojó como resultado que 34 productos representan los productos tipo A (mayor cantidad de producto desplazados), de los cuales se seleccionó al producto líder para la aplicación del algoritmo C-W a

su red de distribución y realizar el análisis de costos correspondiente. La tabla 2 muestra el análisis ABC resultante.

TABLA 2. ANÁLISIS ABC DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS DISTRIBUIDA

Tipo de producto	Cantidad de productos	Porcentaje	Producto enviado (cajas)	Porcentaje de producto enviado
A	34	20.24%	768,280	79.17%
B	51	30.36%	152,382	15.70%
C	83	49.40%	49,779	5.13%
Total	168	100.00%	970,441	100.00%

A partir de la tabla 2 se observa que la cantidad de productos distribuidos se concentra en el tipo A, donde el producto líder de esta categoría representa aproximadamente el 12% de un total de 34 productos, con base en información obtenida de personal de la empresa.

Por otro lado, la misma empresa se encarga de la distribución de estos productos y su red de distribución esta compuesta por 7 nodos (ciudades: Lerma, Cuautitlán, Coahuila, Acayucan, Mérida, Mexicali y zona Occidente) y al mismo tiempo cada nodo debe distribuir producto en promedio a 25 localidades (no consideradas en este análisis). La red se muestra en la figura 1.

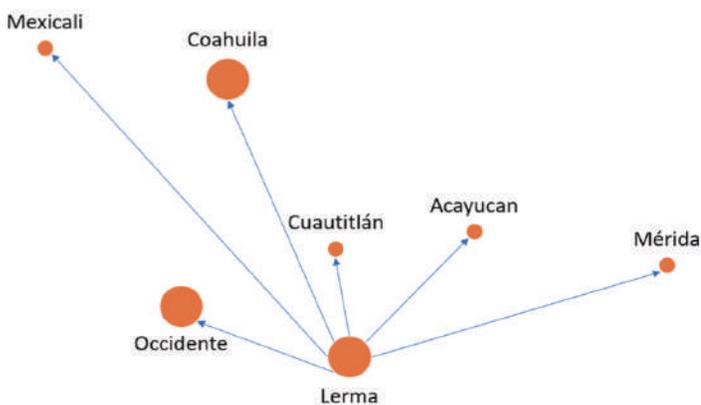


Figura 1. Red de distribución

Durante la aplicación del algoritmo C-W se consideran las siguientes políticas:

No se permite viajar más de 600 km a un solo operador, por lo tanto, si un arco rebasa este límite se asigna un segundo operador.

Después de 8 horas continuas de recorrido, se aplica un descanso de 3 horas.

Se considera un rendimiento de combustible aproximado de 4.5 km/litro.

Se emplea un costo de combustible de \$19.65 (MXN) por litro (costo promedio del combustible en México utilizado por el transporte al momento de realizar los cálculos).

No se permite viajar más de 2,300 km en un solo recorrido.

Cada transporte solo puede utilizar dos contenedores, con base en información obtenida del personal del área de distribución de la empresa. Donde, cada contenedor tiene una disponibilidad máxima de 22 tarimas, las cuales tiene un cupo de 91 cajas por tarima, por lo tanto, la capacidad máxima del transporte es de 4,004 cajas por viaje.

La distribución del producto se lleva a cabo desde un nodo central-origen (Lerma), los recorridos se realizan de manera dedicada, es decir, a partir del nodo central se envía una unidad hacia cada nodo, generando 5 tablas para cada nodo con información relacionada a: 1) distancia entre nodos, 2) costos de peaje, 3) horas de recorrido, 4) costos totales de transportación y 5) costo por unidad enviada. Las tablas 3, 4, 5 y 6 muestran los resultados. Los renglones y columnas identifican los nodos de la red, lo cuales corresponden a:

- 1 = Lerma
- 2 = Cuautitlán
- 3 = Coahuila
- 4 = Acayucan
- 5 = Mérida
- 6 = Mexicali
- 7 = Occidente

TABLA 3. DISTANCIA ENTRE LOS NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Distancias en km							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	73.10	993.12	592.05	1,344.06	2,531.61	488.87
2		-	978.12	554.16	1,306.16	2,566.59	523.85
3			-	1,521.39	2,273.40	1,699.36	757.91
4				-	764.01	3,109.86	1,067.12
5					-	3,870.16	1,827.92
6						-	2,047.65
7							-

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

TABLA 4. COSTOS DE PEAJE ENTRE NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Costos peaje (MXN)							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	\$416	\$1,538	\$2,717	\$4,034	\$6,430	\$2,138
2		-	\$1,790	\$2,742	\$3,789	\$6,655	\$2,363
3			-	\$4,359	\$5,676	\$2,610	\$2,166
4				-	\$1,316	\$9,224	\$4,932
5					-	\$10,541	\$6,249
6						-	\$4,292
7							-

Fuente: [http://app.sct.gob.mx/sibuac\\_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta](http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta)

TABLA 5. HORAS DE RECORRIDO ENTRE NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Horas de recorrido							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	2.00	13.00	9.00	19.00	32.00	7.00
2		-	13.00	9.00	19.00	33.00	8.00
3			-	18.00	29.00	20.00	11.00
4				-	12.00	37.00	13.00
5					-	48.00	23.00
6						-	25.00
7							-

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

TABLA 6. COSTOS DE TRANSPORTACIÓN ENTRE LOS NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Costos por transportación (MXN)							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	\$735.20	\$5,874.62	\$5,302.29	\$9,903.06	\$17,484.70	\$4,272.73
2		-	\$6,061.12	\$5,161.83	\$9,492.57	\$17,862.44	\$4,650.48
3			-	\$11,002.40	\$15,603.18	\$10,030.54	\$5,475.54
4				-	\$4,652.18	\$22,803.72	\$9,591.76
5					-	\$27,440.70	\$14,230.92
6						-	\$13,233.41
7							-

Fuente: elaboración propia

Para determinar los costos por caja enviada se considera la siguiente ecuación:

$$CUE = ((CC)/((km recorrido)/(RC)) + (CP)) / DN \quad (1)$$

Donde:

- CUE = Costo por unidad enviada (\$/caja)
- CC = Costo combustible (\$/litro)
- RC = Rendimiento del combustible (km/litro)
- CP = Costo del peaje (\$)
- DN = Demanda del nodo (cajas)

A partir de esta ecuación 1 se observa que a mayor cantidad de producto enviado el CUE es menor, y a menor demanda de un nodo el CUE aumenta, así mismo, la distancia recorrida influye directamente en los litros de combustible requeridos para completar la ruta.

En la tabla 7 se muestra la cantidad de cajas requeridas de producto para cada nodo por día, en la tabla 8 se pueden observar los ahorros resultantes considerando el enfoque de CUE, como ejemplo se muestran los ahorros generados del día lunes.

TABLA 7. CANTIDAD DE CAJAS SOLICITADAS DEL PRODUCTO LÍDER POR NODO POR DÍA

Nodo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Lerma	4,928	4,501	6,218	4,006	9,150
Cuautitlán	546	2,366	1,820	1274	2,957
Coahuila	2,614	4,004	2,563	3,112	3,469
Acayucan	462	658	945	1,134	739
Mérida	147	1,001	728	728	542
Mexicali	378	364	455	553	1,380
Occidente	2,480	381	2,325	645	2,412

**TABLA 8. COSTOS POR UNIDAD ENVIADA ENTRE NODOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PARA EL DÍA LUNES**

Costos por caja enviada (MXN)							
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	\$1.35	\$2.25	\$11.48	\$67.37	\$46.26	\$1.72
2		-	\$2.32	\$11.17	\$64.58	\$47.26	\$1.88
3			-	\$23.81	\$106.14	\$26.54	\$2.21
4				-	\$31.65	\$60.33	\$3.87
5					-	\$72.59	\$5.74
6						-	\$5.34
7							-

La ejecución del algoritmo se llevó a cabo a través de una hoja de cálculo en el software Microsoft Excel (versión 2016) en una computadora personal con un procesador Intel Core i3, con una memoria RAM 4.0 GB, con un sistema operativo de 64 bits, lo cual muestra la flexibilidad del algoritmo para su aplicación y facilidad en su uso por el personal de la empresa.

Una vez aplicado el heurístico C-W a los datos proporcionados por el personal de la empresa, se realizan los cálculos correspondientes para obtener los costos de cada enfoque.

Para considerar el enfoque de costo por unidad enviada, se hizo una modificación en el ordenamiento de los ahorros entre los nodos para el CUE, de tal forma que un ahorro con valor pequeño positivo indica que existe un mayor ahorro entre los nodos de la red de distribución. Por el contrario, un ahorro negativo indica que no existe ahorro para ese arco.

Los ahorros obtenidos utilizando el enfoque del CUE fueron ordenados de forma creciente, los cuales se muestran en la tabla 9. Como ejemplo solo se presenta los resultados correspondientes al día lunes.

**TABLA 9. ORDENAMIENTO CONSIDERANDO EL ENFOQUE CUE PARA EL DÍA LUNES.**

Ordenamiento (MXN)		
S (3-5) =	-\$36.53	1
S (3-4) =	-\$10.09	2
S (4-6) =	-\$2.59	3

S (2-6) =	\$0.35	4
S (2-7) =	\$1.19	5
S (2-3) =	\$1.28	6
S (2-4) =	\$1.65	7
S (3-7) =	\$1.76	8
S (2-5) =	\$4.14	9
S (4-7) =	\$9.33	10
S (3-6) =	\$21.97	11
S (5-6) =	\$41.03	12
S (6-7) =	\$42.64	13
S (4-5) =	\$47.20	14
S (5-7) =	\$63.35	15

#### IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Para cada día de la semana se aplicó el heurístico C-W para ambos enfoques, y de los resultados obtenidos se analizó para cada enfoque las rutas generadas. Un ejemplo de ello se presenta a continuación solo para el día lunes:

- Rutas considerando CUE:
  - Lerma – Cuautitlán – Occidente – Lerma
  - Lerma – Coahuila – Mexicali – Lerma
  - Lerma – Acayucan – Mérida – Lerma
- Rutas considerando mínima distancia:
  - Lerma – Coahuila – Mexicali – Lerma
  - Lerma – Cuautitlán – Acayucan – Mérida – Lerma
  - Lerma – Occidente – Lerma

En las figuras numeradas de la 2 a la 11 se observan las rutas obtenidas para ambos enfoques para los cinco días de la semana.

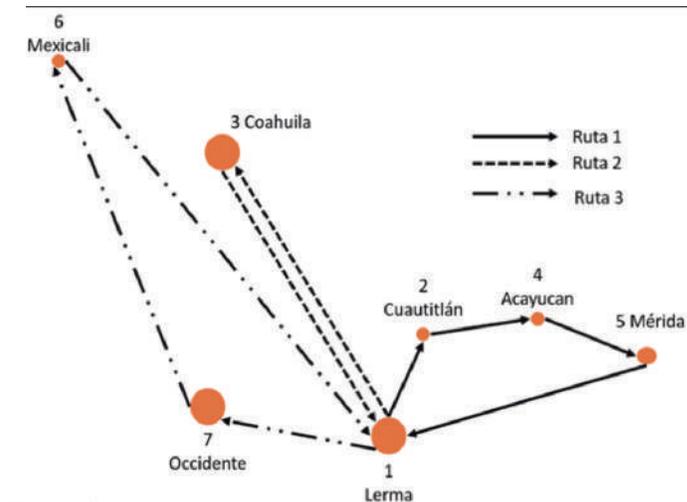
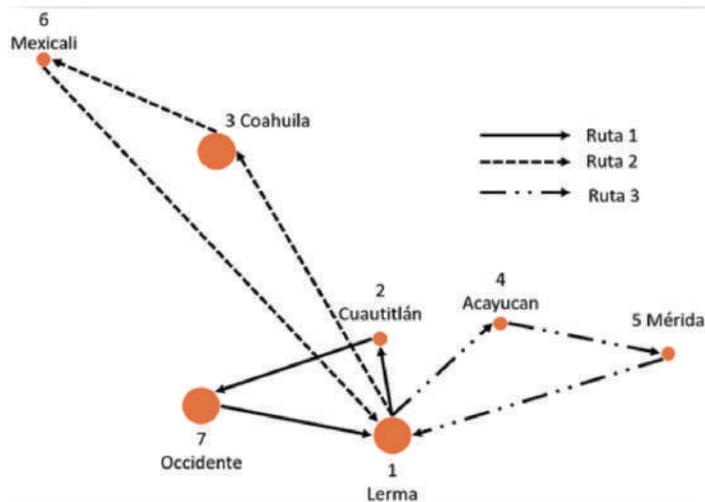


Figura 2. Conjunto de rutas considerando CUE para el día lunes

Figura 5. Conjunto de rutas considerando mínima distancia para el día martes

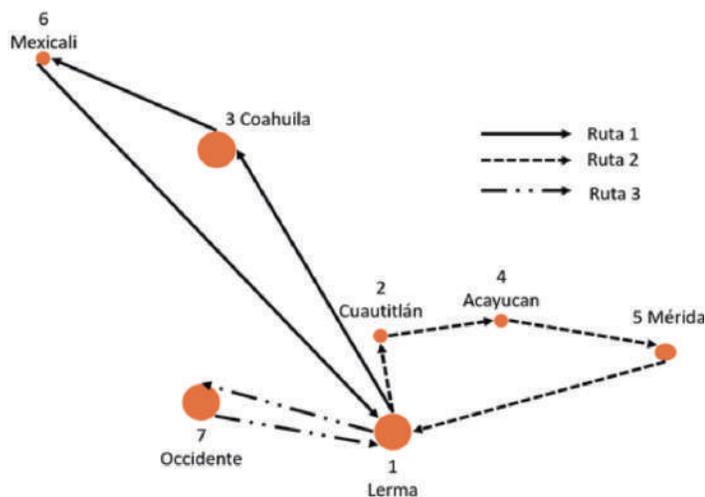


Figura 3. Conjunto de rutas considerando mínima distancia para el día lunes

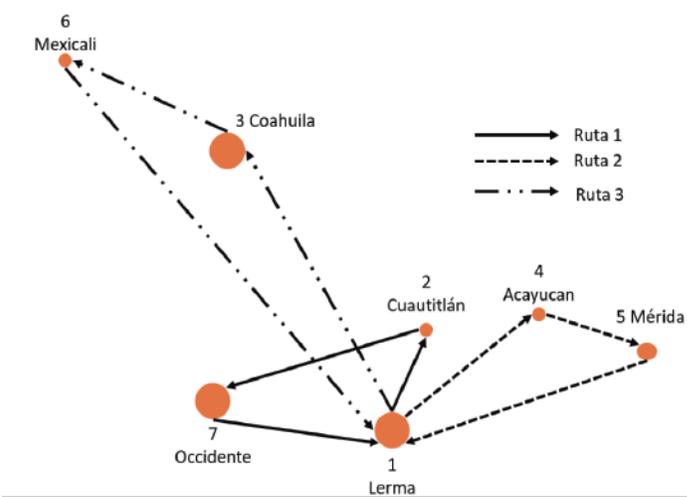


Figura 6. Conjunto de rutas considerando CUE para el día miércoles

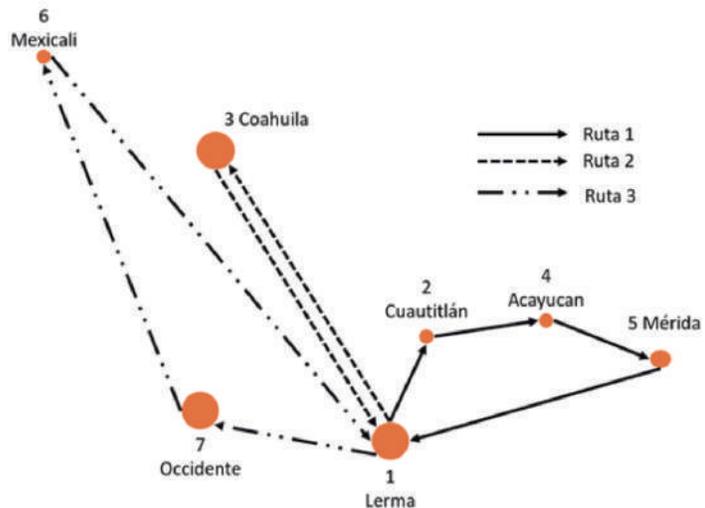


Figura 4. Conjunto de rutas considerando CUE para el día martes

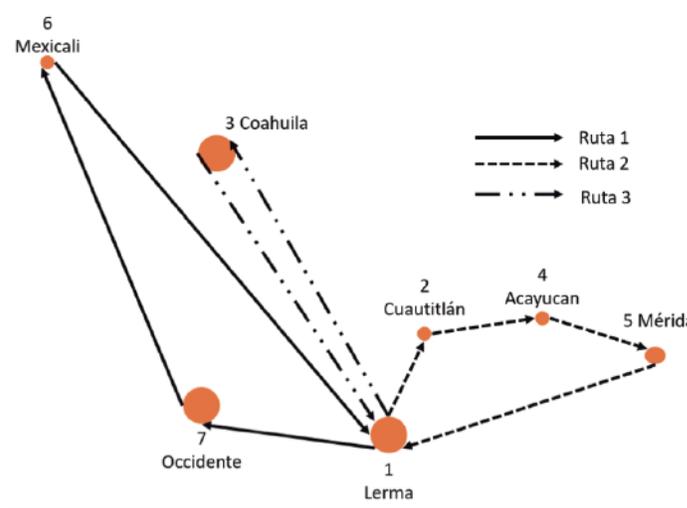


Figura 7. Conjunto de rutas considerando mínima distancia para el día miércoles

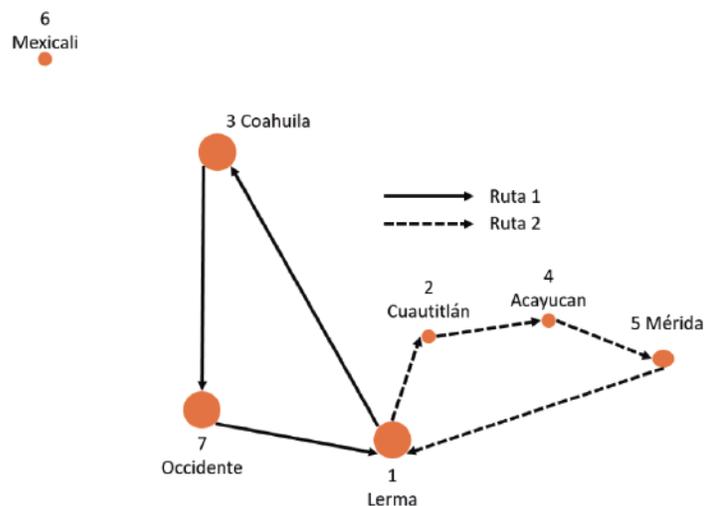


Figura 8. Conjunto de rutas considerando CUE para el día jueves

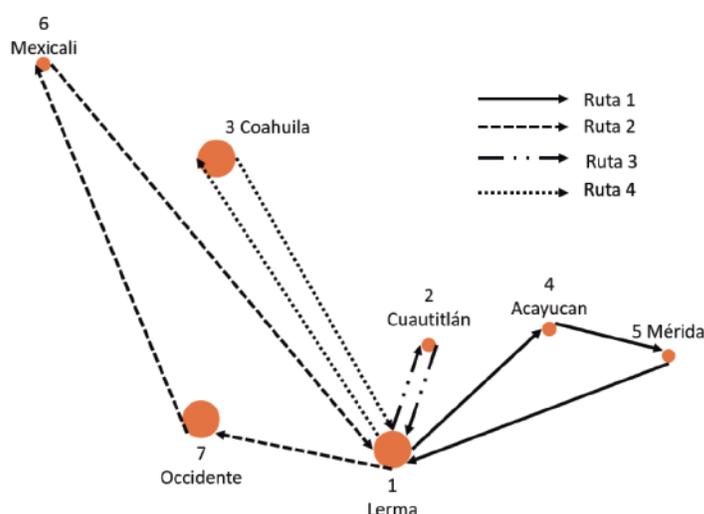


Figura 11. Conjunto de rutas considerando mínima distancia para el día viernes

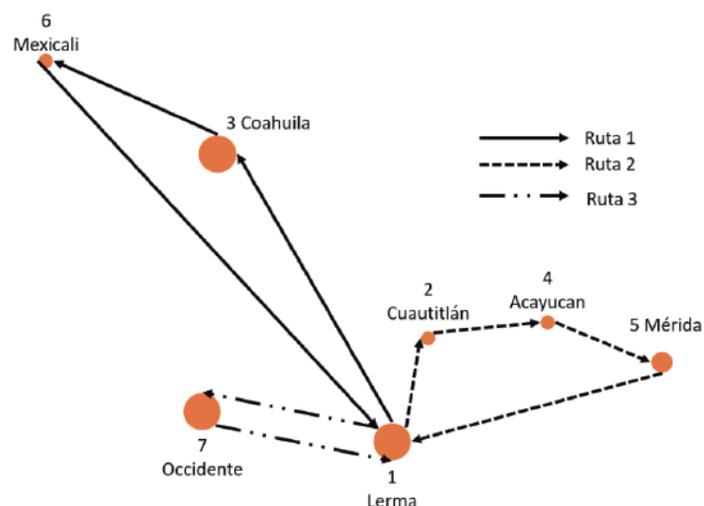


Figura 9. Conjunto de rutas considerando mínima distancia para el día jueves

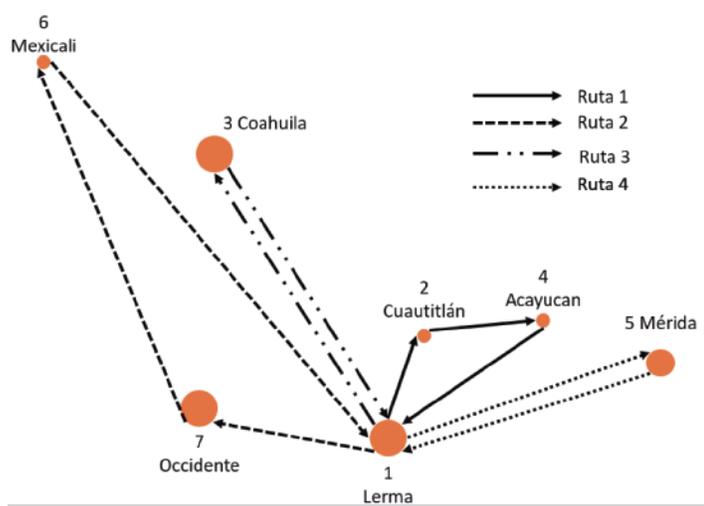


Figura 10. Conjunto de rutas considerando CUE para el día viernes

En la tabla 10 se muestran los resultados del conjunto de rutas para ambos enfoques y la diferencia entre ellos como una comparación de los conceptos calculados, solo para el día lunes como ejemplo.

TABLA 10. RESULTADOS DE RUTAS OBTENIDAS APLICANDO AMBOS ENFOQUES. DIFERENCIA = (CUE – MÍNIMA DISTANCIA)

	CUE	Mínima Distancia	Diferencia
km Totales	4,645.49 km	4,572.62 km	72.87 km
Cantidad de producto (cajas)	6,627	6,627	0
Espacios ocupados (tarimas)	73	73	0
Remolques	3	3	0
Costo transportación (MXN)	\$ 31,245.41	\$ 30,727.11	\$ 518.20
Personal Requerido	5	5	0
% promedio ocupación	60.20 %	64.80%	-4.6%

La comparación fue realizada para cada concepto (km totales, cantidad de producto, espacios ocupados, remolques, costo de transportación, personal requerido y el porcentaje promedio de ocupación), la tabla 11, muestra la diferencia por día para cada uno de los conceptos considerados en el análisis de datos.

TABLA 11. DIFERENCIA DE ENFOQUES (CUE – MÍNIMA DISTANCIA) POR DÍA

	Diferencia Lunes	Diferencia Martes	Diferencia Miércoles	Diferencia Jueves	Diferencia Viernes
km Totales	72.87	0	-275.42	-1430.32	542.16
CP	0	0	-141	-553.00	0
EO	0	0	0	-6	0
R	0	0	0	-1	0
CT	518.20	0	-2 684.67	-9 422.48	5 110.43
PR	0	0	-1	-1	1
% PO	-4.60	0	12.77	18.72	-4.61

Donde:

- CP = Cantidad de producto (cajas)
- EO = Espacios ocupados (tarimas)
- R = Remoques
- CT = Costo transportación (\$)
- PR = Personal requerido
- %PO = Porcentaje promedio de ocupación

Los resultados que muestran valores negativos en la diferencia para los conceptos (km totales, cantidad de producto espacios, remolques, costo de transportación y personal requerido) indican que el enfoque CUE mejora al enfoque de mínima distancia.

Para el concepto de porcentaje promedio de ocupación, deberá ser considerado de manera contraria, si existen valores positivos es indicador que hay un porcentaje mayor de ocupación en el enfoque CUE, si existen valores negativos el porcentaje de ocupación se inclina hacia en enfoque de mínima distancia.

En la figura 12 y 13 se muestra gráficamente la interpretación de la diferencia para los conceptos.

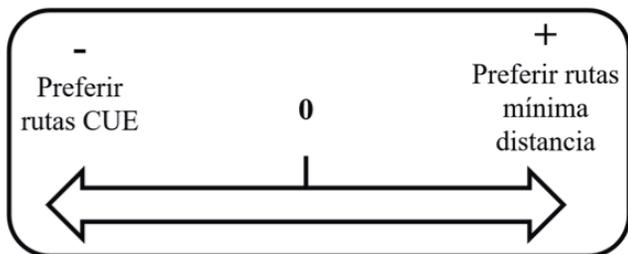


Figura 12. Interpretación del resultado de la diferencia entre CUE y mínima distancia para conceptos km totales, CP, EO, R, CT Y PR

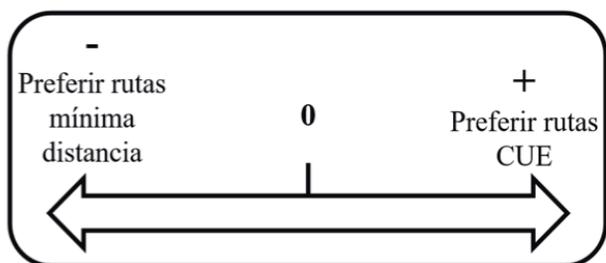


Figura 13. Interpretación del resultado de la diferencia entre CUE y mínima distancia para el porcentaje promedio de ocupación

La tabla 12 muestra la diferencia general obtenida comparando ambos enfoques.

TABLA 12. DIFERENCIAS TOTALES POR SEMANA

	<b>Ahorro semanal</b>
<b>km Totales</b>	- 1 090.71
<b>Cantidad de producto (cajas)</b>	- 694
<b>Espacios ocupados (tarimas)</b>	- 6
<b>Remolques</b>	- 1
<b>Costo transportación (MXN)</b>	- \$ 6 478.52
<b>Personal requerido</b>	- 1
<b>% promedio ocupación</b>	22.28%

A partir de la tabla 12 se puede observar que hay una mejora en la distancia recorrida si se eligen las rutas mediante el enfoque de CUE, sin embargo, hay una pérdida de 694 cajas si se eligen las rutas del enfoque de CUE. Lo anterior a raíz de que en la ruta 1 del día miércoles, la demanda del nodo de occidente excede el límite de capacidad por 141 unidades y para el día jueves no es posible enlazar el nodo de Mexicali produciendo una pérdida de 553 unidades, así mismo, considerando que el CUE entre Lerma y Mexicali para este mismo día su costo es de \$31.62, estando entre los 3 costos más altos.

Los conceptos remolques y personal requerido presentan mínima diferencia, esto representaría que los dos enfoques no predominan entre ellos, sin embargo, se debe considerar que el día jueves no es posible enlazar el nodo de Mexicali. El costo de transportación muestra una preferencia hacia el enfoque de CUE.

El porcentaje promedio de ocupación muestra preferencia hacia el enfoque de CUE, en el que se puede aprovechar mejor el espacio disponible de los contenedores.

En el concepto cantidad de producto no debe tener diferencia, esto es un indicador de que la demanda es cumplida en su totalidad para ambos enfoques.

## V. CONCLUSIONES

Del análisis de datos realizado para cada nodo, se concluye que cuando la demanda es muy alta en el nodo se requiere transporte dedicado, para satisfacer en tiempo y forma los requerimientos del cliente.

Los resultados que muestran valores negativos en la comparación entre los enfoques, indican que el enfoque CUE mejora al enfoque de mínima distancia, de donde el tomador de decisiones puede considerar qué enfoque utilizar para aumentar los ahorros o aprovechar el espacio disponible de los remolques. Por lo tanto, del análisis de resultados realizado bajo la comparación de los dos enfoques, la utilización de las figuras 12 y 13 permite al personal de la empresa contar con una herramienta sencilla para la toma de decisiones en la asignación de rutas, de acuerdo al esquema que desea aplicar. Las figuras se derivan del análisis obtenido de la aplicación del heurístico C-W.

La aplicación de métodos cuantitativos y en especial para este caso el heurístico de C-W, facilita identificar soluciones a problemas reales, ofreciendo alternativas que mejoran el uso de los recursos de la empresa (uso del vehículo, capacidad, mano de obra, etc.) y por consecuencia reducen los costos de transporte.

Este algoritmo es un heurístico sencillo para su aplicación a situaciones reales y fácil manejo para el personal de la empresa, además de que su implementación no requiere de la inversión de software especializado para su ejecución.

## REFERENCIAS

[1] Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959) 'The Truck [1] Dantzing, G.B. & Ramser, J.H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.

[2] Clarke, G. & Wright, J.V. (1964) Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12, 568-581.

[3] Toht, P. & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications*. MOS-SIAM Series on Optimization, 2, 87-110.

[4] Koutis, G. (2019). *Vehicle Routing Problem: A case study of Vitafarm S.A.* (Tesis de Maestría). Universidad Aristóteles de Salónica, Salónica, Grecia.

[5] Mittal, P., Garg, N., Ambashta, H. & Mehndiratta, C. (2017). Solving VRP in an Indian Transportation Firm through Clark and Wright Algorithm: A Case Study. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, 5(10), 163-168.

[6] Hashi, E.K., Hasan, Md. R. & Zaman, Md. S.U. (2015). A Heuristic Solution of the Vehicle Routing Problem to Optimize the Office Bus Routing and Scheduling using Clarke & Wright's Savings Algorithm. 1st International Conference on Computer & Information Engineering, SIN NUMERO DE VOLUMEN, 13-16.

[7] Battarra, M., Golden, B. & Vigo, D. (2008). Tuning a parametric Clarke-Wright heuristic via a genetic algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 59, 1568-1572.

[8] Dullaert, W., Janssens, G.K., Sörensen, K. & Vernimmen, B. (2002). New heuristics for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 1232-1238.

[9] Caccetta, L., Alameen, M. & Abdul-Niby, M. (2013). An Improved Clarke and Wright Algorithm to Solve the Capacitated Vehicle Routing Problem. *ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research*, 3(2), 413-415.

[10] Chan, Y., Carter, W.B., & Burnes, M.D. (2001). A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands. *Computers & Operations Research*, 28, 803-826.

[11] Pichpibul, T., & Kawtummachai, R. (2012). An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38, 307-318.

[12] Ballou, R.H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro*. (5a ed.) México: PEARSON Educación.

[13] Robusté, F. (2005). *Logística del Transporte*. (5a ed.) Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

[14] Valles, J.A. (2013). *Tráfico y Transporte*. (1a ed.) México: McGraw-Hill.

[15] Ravindran, A.R., & Warsing D.P. (2013) *Supply Chain Engineering Models and Applications*. (1a ed.) Florida: CRC Press.

# Desarrollo de un sistema de gestión de inventarios en la cadena de suministro de una empresa agropecuaria

Mtro. Javier Portugal Vásquez  
Departamento Académico de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón Sonora, México  
javier.portugal@itson.edu.mx

Dr. Ernesto Alonso Lagarda Leyva  
Departamento Académico de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón Sonora, México  
ernesto.lagarda@itson.edu.mx

Mtro. Josue Roberto Santana Sapien  
Departamento Académico de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón Sonora, México  
josue.roberto.santana.sapien@signify.com

Dr. Alfredo Bueno Solano  
Departamento Académico de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón Sonora, México  
abuenosolano@itson.edu.mx

---

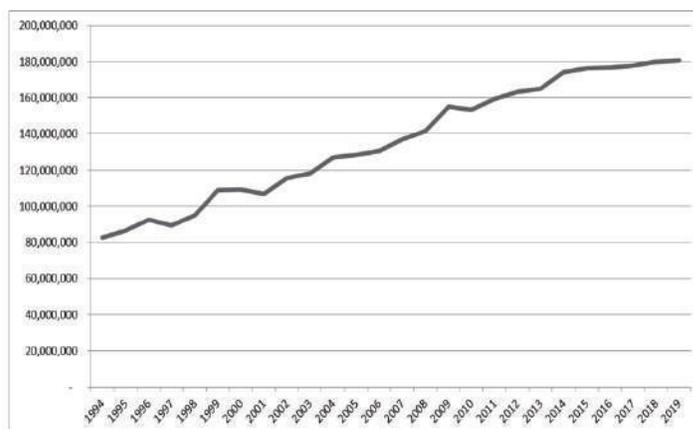
*Resumen—La agricultura en el marco mundial ha logrado cumplir con la gran demanda de los productos agropecuarios. La producción mundial de hortalizas ha ido experimentando un incremento notable. En Sonora, el Municipio de Cajeme tiene el primer lugar en superficie sembrada con el 17.6 %. Esto refleja la importancia de realizar proyectos de mejora en este sector. El presente proyecto se realizó en una empresa agropecuaria ubicada en el sur de Sonora. En la organización se detectaron problemas de manejo de inventarios de sus materiales necesarios para empaque del tomate Roma. El objetivo del estudio es gestionar los inventarios en la cadena de suministro con el fin de asegurar la disponibilidad del producto. Para lograr el objetivo, se plantea una metodología integradora, que va desde un análisis y pronóstico de la demanda, hasta una evaluación de los proveedores. En la metodología se utilizan también técnicas propias de la gestión de inventarios. Como principal resultado se tiene un proceso que apoye a los tomadores de decisiones a emprender acciones sobre la gestión de abastecimiento. Para validar los resultados, se utilizó dinámica de sistemas, la cual permitió observar el comportamiento del proceso de abastecimiento empleando diferentes políticas.*

*Palabras Clave— — abastecimiento; inventarios; planeación de materiales; pronóstico; dinámica de sistemas.*

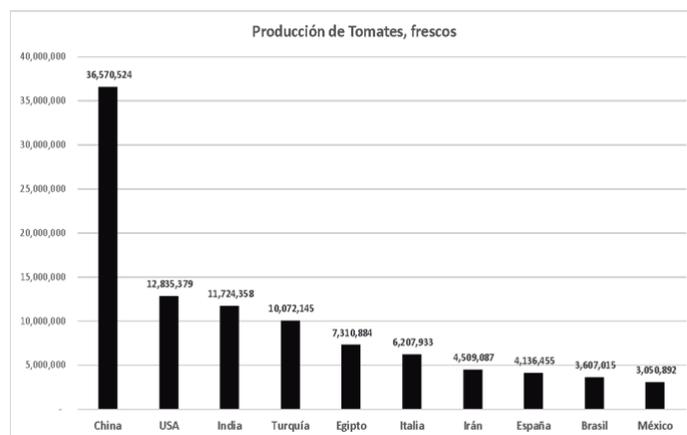
## I. INTRODUCCIÓN

La habilidad de manejar efectivamente los inventarios, así como a la cadena de suministro, es el diferenciador clave entre compañías exitosas. A pesar de los esfuerzos de las industrias del sector alimenticio por reducir sus grandes reservas de bienes, aún hay grandes cantidades de dineros estancadas en los almacenes de las cadenas de suministro. Los niveles de inventario disminuyeron solamente de 46 días en 1999 a 45 días en el 2002, muy lejos de la meta de 27 días propuesta por el Efficient Consumer Response (ECR). Sin embargo, a pesar de esto, hay industrias que siguen teniendo problemas de existencia en sus productos (Doherty, 2004). De acuerdo con Hasbleid y Sanchez (2014) las organizaciones pueden ser capaces de obtener resultados más eficientes si consideran a la cadena de suministro como conjunto de elementos relacionados y coordinados que gestionan información en cualquier nivel, desde proveedores hasta consumidores. Además, de que se busca un solo fin, el cual es cumplir con la demanda del cliente.

Según datos del anuario estadístico de la (FAO, 2019), México se encuentra entre los mayores productores de hortalizas en Centroamérica, superado solamente por Brasil. Adicional a esto, México ocupó la séptima posición a nivel mundial en producción de hortalizas. De igual manera se menciona que del total de 22.2 millones de hectáreas sembradas en México, el 9.5 % es de frutas y hortalizas, esto ayudó a que estos productos contribuyeran con un 38.7 % del valor de la producción agrícola nacional, es decir, son de los cultivos con mayor densidad económica por unidad de superficie cultivada. En relación a la producción anual del tomate, esta muestra un comportamiento creciente como lo muestra la gráfica. Pasando de 82,447,841 ton en 1994 a 180,766,329 en 2019.

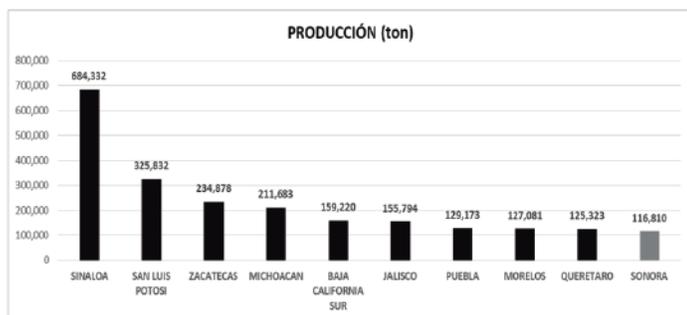
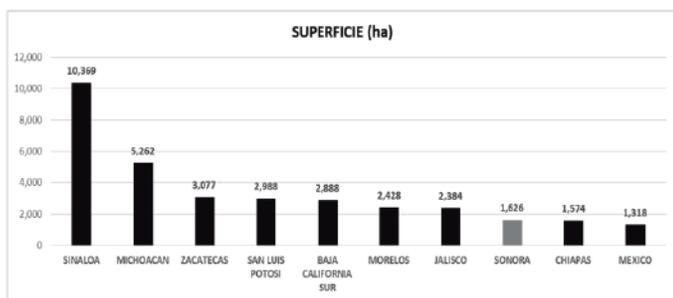


México ocupa el décimo lugar a nivel mundial en producción de tomate. El primer lugar es China, seguido de Estados Unidos de América. (FAO, 2019).



De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2020) una de las hortalizas con mayores volúmenes de producción es el tomate, con una superficie sembrada de 44,519 ha y una producción anual de 3,061,233 ton. Esto se logró gracias a una mayor superficie agrícola con sistemas de agricultura protegida. En México en los últimos años el crecimiento de producción de tomate ha sido importante, pasando de 2,999,641 ton en 2010 a 4,271,914 ton en 2019.

Sonora se encuentra dentro de los diez primeros lugares nacionales en área sembrada y producción de tomate con una superficie de 1,626 ha y 116,810 ton. Sinaloa es el mayor productor de tomate en México.

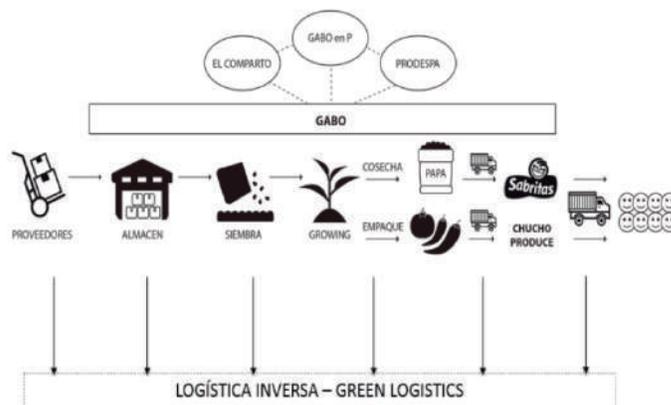


Retomando datos del Atlas Agroalimentario del SIAP, México está entre los países en los que más productos del campo exportan. El liderazgo lo toma el sector agroindustrial con 51.4%, seguido del sector agrícola con un 40.9%. de igual manera. México es el segundo mayor exportador a Estados Unidos de América. Más del 60% de verduras que adquirió, son de origen mexicano, el tomate es la verdura con mayor valor en exportación con 1,194 millones de dólares, aumentando su valor del 2015 de 973 millones de dólares. Obteniendo datos de (SAGARPA, 2017). El principal cliente del jitomate en México es Estados Unidos, adquiere el 99% del volumen exportado. Según datos del atlas agroalimentario 2017.

Una de las empresas en Sonora dedicadas a la producción, empaque y exportación de hortalizas es Agropecuaria Gabo S.A. de C.V. la cual inicia sus operaciones a partir del año de 1986, actualmente cuentan con un repertorio de nueve productos, el tomate es el más llamativo para la organización. La empresa bajo estudio cuenta con la siguiente

La empresa bajo estudio exporta sus productos hacia su cliente principal “Chucho Produce” en Nogales, Arizona, en Estados Unidos de América. Este cliente es el encargado de comercializar dichos productos.

Pulido (2014) menciona que la cadena de suministros relaciona a muchas compañías en diferentes etapas, que van desde la obtención de la materia prima, hasta llegar al consumidor final quien hace uso de los productos terminados. A continuación, se presenta la cadena de suministro de la empresa bajo estudio.



El catálogo de productos que cultivan en esta organización ha ido evolucionando con el paso de los años. En la actualidad cuentan con los siguientes productos: pepino Persa (13.5 hectáreas sembradas), tomate Roma (57.2 hectáreas sembradas), Papa Frito Lay, Atlantic y Fianna (104.5 hectáreas sembradas), Chile jalapeño bravo (no se sembró), Maíz (64 hectáreas sembradas), Frijol (77.5 hectáreas sembradas), Granada wonderfull (Preparación para comercializar).

El producto, Tomate Roma, debe cumplir con especificaciones proporcionadas por el cliente. Estas van desde el color del tomate, hasta la forma en la que están estibadas en la tarima. Las especificaciones del cliente de la organización para el tomate roma de primera calidad (exportación). El tomate se clasifica por tamaño y por color, este último del 1 al 6, las especificaciones del cliente indican un color 2 a 5, el cual tiene un color verde con tonalidades rojas. Debido al trayecto que se tiene que recorrer, no es permitido enviar un color mayor a 5, ya que, al llegar el producto al cliente, este podría no llegar en las condiciones necesarias para su venta, además, de que se reduce considerablemente su vida de anaquel.

Arias (2014) afirma que el concepto de madurez organizacional se ha utilizado para conocer su actual

punto de desarrollo comparándolo con modelos de referencia. Es por esto que se realizó un análisis interno a la empresa, basado en diferentes modelos de referencia como el modelo EFQM, SCOR, Deming, entre otros, con el objetivo de definir el nivel de madurez de la cadena de suministro de la organización. Los resultados el análisis se presenta a continuación en la TABLA 1:

**TABLA 1. ANÁLISIS DE MADUREZ ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA BAJO ESTUDIO.**

<i>Criterios</i>	<i>Porcentaje individual</i>	<i>Nivel de Madurez General</i>	<i>Nivel de Madurez General</i>
Alianzas	73%	61%	Articulación Productiva
Gestión Estratégica	46%		
Gestión de Procesos	53%		
Abastecer	43%		
Producir	78%		
Distribuir	65%		
Recursos	65%		
Resultados	80%		
Clientes	53%		

El análisis de madurez arrojó que la organización se encuentra en el nivel de “articulación productiva” con un valor del 61%, siendo este el nivel tres de cuatro establecidos. Se deberá entender a articulación productiva como a una organización cuenta con una estructura formal y se incorpora la estrategia de la gestión de procesos en su haber, hay objetivos e indicadores establecidos, pero no se les da seguimiento. Se capacita al personal; existen departamentos y se definen roles. Se trabaja con alta productividad. Por otro lado, el proceso de “abastecer” junto con el de “gestión estratégica” fueron los criterios con el más bajo porcentaje, 43 y 46% respectivamente. Este resultado abre paso a áreas de oportunidad para lograr mejorar el nivel de madurez de la cadena de suministro de la organización. Dentro del proceso de abastecer, se evaluaron cinco aspectos.

Complementando lo anterior, se realizó un análisis interno para detectar aquellas debilidades y amenazas de la empresa bajo estudio. Sumando el contexto externo con el interno, se logra integrar la matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) de la organización. La matriz FODA se presenta en la Fig. 1 a continuación:



Figura 1. Matriz FODA de la empresa bajo estudio

La matriz FODA muestra todos aquellos factores que se consideraron de mayor importancia para la empresa, sin embargo, debido al constante cambio que se vive, esta matriz es susceptible a cambios. Una vez definida la matriz, se pudieron definir los objetivos estratégicos para cada eslabón de la cadena de suministro que ayudarán a lograr la estrategia a seguir por la empresa.

La estrategia se definió como “diferenciación a través de desarrollo de alianzas e innovación tecnológica”. Es importante resaltar los objetivos estratégicos que se asignaron al eslabón de abastecimiento de la cadena de suministro: a). Asegurar el manejo adecuado del producto, b) Optimizar recursos del proceso de abastecimiento, c) Ingreso periódico de materia prima, d) Mejorar la competitividad de la empresa e) Incrementar la satisfacción del cliente.

Se analizó el proceso de abastecimiento de empaque mediante un diagrama SIPOC detallado (Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customers) con el objetivo de entender el proceso y detectar desperdicios para poder proponer áreas de oportunidad. Dichas oportunidades detectadas se priorizaron mediante una matriz de esfuerzo – Impacto, la cual compara el esfuerzo necesario para

realizar estas oportunidades contra el impacto que estas generan a la organización. La matriz quedó conformada de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 2:



Figura 2. Matriz esfuerzo – impacto de empresa bajo estudio

La organización presenta áreas de oportunidad en su proceso de abastecimiento, específicamente en la gestión de inventarios. Según (Batista & Armayor, 2012) la gestión de inventarios es una de las áreas de la logística y la cadena de suministro más estudiadas por la administración de operaciones, ya que tiene un alto impacto en los costos operacionales de las empresas y es una de las medidas más importantes para evaluar la efectividad de las cadenas de suministro.

Adicional a lo anterior, Mondragón, citado por Serna, Jaimes, y Cortes (2013), menciona que el entorno competitivo actual, sumado con el rápido cambio tecnológico y los cortos tiempos de ciclo de los productos, la necesidad de eliminar desperdicios, las nuevas oportunidades de negocio, entre otros, ha generado que las empresas se preocupen por encontrar medios para sobresalir ante sus competidores. Se ha hecho indispensable que las compañías volteen a ver la administración de los inventarios, de manera que permitan reducir los costos operacionales y aumentar la rentabilidad de las empresas, ofreciendo mejores niveles de servicio.

En visitas realizadas en la organización, se detectó que la organización no cuenta con un método estandarizado para la realización de sus pedidos de materiales de empaque, específicamente en las cajas

para el tomate. Los niveles de inventario diarios de la temporada, teniendo un valor mínimo de 11055 unidades de cartón y un máximo de 71,438 unidades. En promedio, se tienen 34,900 unidades diarias.

Planteamiento del problema: A pesar de que la organización bajo estudio se encuentra en un nivel 3 (articulación productiva) de madurez organizacional de un total de 5 niveles, obteniendo un porcentaje de 61%, se logran identificar áreas de oportunidades. Estas áreas fueron detectadas mediante el análisis SIPOC detallado.

El costo de mantener inventario de la organización es de 436,104.84 pesos sin tomar en cuenta el costo del cartón y sin tomar en cuenta las mermas ocasionadas en el proceso. La causa raíz de altos costos de inventarios se determinó que es que no se tiene establecido un método sistematizado para realizar sus compras de materiales por lo que los lleva a aumentar sus costos. Dado lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué modelo de gestión de inventarios de la cadena de suministros es el adecuado en una empresa dedicada a la exportación y empaque de tomate Roma?

*Objetivo:* Diseñar un modelo de gestión de inventarios para empresas empacadoras de alimentos del sector agroindustrial del Noroeste de México a través del pronóstico de la demanda, con el fin de asegurar el ingreso periódico de materia prima

*Justificación:* El uso de un buen sistema de gestión de inventarios en la cadena de suministro es de vital importancia para lograr incrementar y asegurar un alto nivel del servicio al cliente (Gomez, 2015), además, de que evitará elevar los costos operacionales de la empresa ya que los inventarios representan un alto costo e impacta en la efectividad de la cadena de suministro (Batista & Armayor, 2012)

Los beneficios de implementar un sistema de gestión de inventarios en organizaciones del sector de la empresa bajo estudio se verán reflejados en un mejor control en sus niveles de inventarios y, por lo tanto, la alta dirección contará con un mayor soporte en la toma de decisiones. Además, esta solución permitirá

organizar los objetivos estratégicos de la organización. Importancia de la administración de la cadena de suministro.

En la actualidad el término de Cadena de Suministro o Administración de la Cadena de Suministro (SCM por sus siglas en inglés) ha ido tomando gran importancia en el ámbito empresarial. Sanchez & Garcia (2002) definen como una red de organizaciones directamente conectadas con flujo hacia atrás y hacia adelante, ya sea de productos, servicios y/o información que colaboran en conjunto para reducir costos y satisfacer la demanda del cliente (Tortorella, Miorando, & Marodin, 2017). Ballou (2004) menciona que la cadena de suministro es un conjunto de actividades funcionales tales como transporte y gestión de inventarios que pueden repetirse muchas veces a lo largo del canal de flujo. Esto con el fin de convertir la materia prima en producto terminado con valor añadido para el cliente final.

Debido a los cambios constantes que se viven en la actualidad, existen algunos problemas que se pueden presentar en la cadena de suministro y es importante conocerlos. Estos problemas, según, Bowersox, Closs y Cooper (2007), son los siguientes: Configuración de una red de distribución, Estrategia de la distribución, Información y Administración de los inventarios. Varios autores coinciden, que la cadena de suministros compone una red de proveedores hasta el cliente, sin embargo, el flujo de información es igual de importante, así como los productos y los fondos en ambas direcciones de la cadena. Cada etapa de la cadena de suministro está conectada por estos flujos anteriormente mencionados; clientes, detallistas, mayoristas/distribuidores, fabricantes y proveedores (Chopra & Meindl, 2013)

Actualmente, los enfoques en los últimos años sobre el análisis de las cadenas de suministro han demostrado mayor interés por los principios de sostenibilidad. Estos cambios en la mentalidad de las organizaciones generó cambios en los paradigmas de análisis frente al desarrollo productivo de industrias como la alimenticia (Guevara, 2018). Seuring y Muller (2008) mencionan que la gestión de la cadena de suministro sostenible es la gestión de los flujos de recursos físicos, de información y capital, tal como se menciona anteriormente.

Finalmente, se puede concluir que, a través de los años, el enfoque y la definición de la SCM sigue siendo el mismo. Al final, el SCM es llevar a cabo todas aquellas actividades que nos permitan llevar el producto al cliente en tiempo y forma, tomando en cuenta a nuestros proveedores, sin olvidar la sostenibilidad de la cadena. En un mundo tan competitivo y en donde la tecnología evoluciona constantemente, ha ocasionado que los clientes sean más exigentes con sus proveedores. Esto genera un gran reto para las organizaciones: Incrementar y asegurar un alto nivel de servicio al cliente, con el fin de crear lealtad en los clientes (Gomez, 2015).

Los inventarios en proceso y los inventarios de producto terminado son un aspecto de gran importancia para el administrador de los inventarios y generan un punto de partida para la toma correcta de decisiones estratégicas (Rodríguez, 2015). Hay numerosas razones por las cuales los inventarios están presentes en un canal de suministro, sin embargo, en años recientes, se ha catalogado a la práctica de manejo de inventarios como algo innecesario y antieconómico. Por otro lado, existen argumentos a favor ya que los inventarios se relacionan con el nivel de servicio al cliente o para costear economías indirectamente derivadas de ellos (Ballou, 2004).

A mediados de 1950, Forrester sentía que los días de gloria de las computadoras se estaban acabando y tenía que mirar a nuevas fronteras, mirar hacia nuevos retos (Lane & Sterman, 2011). La dinámica de sistemas es una disciplina con una amplia gama de aplicaciones tales como; ciencias, educación, leyes, ingeniería e incluso medicina. La dinámica de sistemas comprende un camino de comunicación de dos vías entre los modelos mentales y los modelos de simulación. Los modelos mentales contienen una gran cantidad de información, pero la mente humana no es capaz de entender lo que significa la información disponible en términos de comportamiento. Por otro lado, los modelos de simulación se acoplan de gran manera con los modelos mentales, tomando toda esa información mental y mostrando las consecuencias dinámicas (Forrester, 2009).

La reducción de costos es uno de los principales problemas con los que las compañías tienen que lidiar. Hay diferentes maneras para lograrlo, una de las más fáciles y comunes es en el ahorro usando materiales baratos y de baja calidad, sin embargo, esta es una manera rápida de quedar fuera del juego. Dicho esto, las organizaciones deberían buscar por mejores soluciones que permitan reducir los costos. Existen muchos caminos recomendados, uno de ellos deriva del enfoque de manufactura esbelta, y es la reducción de los niveles de inventario (Stadnicka & Litwin, 2019).

Por otro lado, la conclusión de que la información arrojada por la dinámica de sistemas puede facilitar y validar las decisiones para implementar manufactura esbelta en los procesos de la empresa (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Sin embargo, los autores Stadnicka y Litwin (2019), demuestran que además de lo ya mencionado, la dinámica de sistemas es de gran ayuda en la mejora de los procesos y puede indicar las áreas en las cuales las herramientas lean, tales como supermercados o líneas PEPS podrían ser implementadas con el fin de reducir los niveles de inventario. La simulación ha sido ampliamente usada en la administración de la cadena de suministro desde que se comprobó que su aplicación provee amplias oportunidades para dar soporte a la cadena de suministro. Algunas de estas oportunidades son el establecer los niveles de inventario deseados en las diferentes estaciones de la cadena de suministro, así como también asistencia en la planeación, programación y ejecución de la cadena de suministro (Banks, Buckley, Jain, Lendermann, & Manivannan, 2002).

Las compañías presentan algunas complejidades proporcionales a la cantidad de productos que manejan, así como procesos, incluso incertidumbres que puedan existir en el contexto interno y/o externo, sumándole los problemas que conlleva una demanda impredecible. Sin embargo, toda esta complejidad tiene una solución, la planeación de requerimiento de materiales (MRP) (Shroeder, Goldstein, & Rungtusanatham, 2011).

El MRP, es una técnica que ayudará a planear las prioridades, coordinada con el tiempo, que permitirá

demanda de los productos, ya sea en una o más plantas (Moustakis, 2010). Por otro lado, Miño-Castante, Saumel-Fonseca, Borrego, Ruenes, y Garcia, (2014) mencionan que el MRP permite planear y controlar la demanda de los materiales en las empresas ligándose con la fecha establecida de entrega de los pedidos.

En la cadena de suministro, los pronósticos son fundamentales para el rendimiento operacional. La mayoría de los investigadores han asumido en sus estudios, sistemas operativos y estructuras de costos simples. Además, han fallado en igualar el proceso de la obtención de la demanda con la elección de un método de pronóstico (Acar & Jr., 2012). Estos errores han dificultado la comprensión de los efectos que pueden ocasionar los pronósticos en la eficiencia, costos, inventarios o el nivel de servicio al cliente.

Complementando lo anterior, Fildes y Kingsman (2010) afirman que los beneficios de mejorar los pronósticos son considerablemente mejor que los efectos de decidir políticas de inventarios. El uso de los pronósticos es una parte fundamental en las actividades de toma de decisiones dentro de la administración ya que son de ayuda para lograr los objetivos y metas establecidos por la organización. La necesidad de pronosticar se incrementa cuando la organización quiere reducir o eliminar su dependencia al destino y quiere volverse más científica y tomar en cuenta su ambiente.

La necesidad de adquirir la materia prima y/o materiales necesarios para el desarrollo de una actividad empresarial, implica poner en marcha una serie de actividades relacionadas entre sí que inician desde la necesidad de la materia prima y termina cuando el producto y la factura llegan al almacén (Monzo, Llido, & Garcia, 2014). Corral (2014), afirma que esta actividad de compras radica en su vitalidad para el éxito de las organizaciones ya que esta muestra la efectividad de la administración sobre los bienes adquiridos. El autor también menciona que una buena planeación de las compras significa para la empresa ahorros en efectivo, en su liquidez y fluidez del capital. Adicionalmente, Monczka, Handfield, Guinipero y Patterson (2009), menciona que el proceso de compras tiene seis objetivos, los cuales se enlistan a continuación: continuidad de suministro, administrar el

proceso de compras de una manera efectiva y eficiente, desarrollar una base en la administración de compras, desarrollar metas alineadas con los clientes internos, dar soporte a las metas y objetivos organizacionales y desarrollar estrategias de compras integradas que den soporte a las estrategias de la organización.

## II. PROCEDIMIENTO

**Análisis del comportamiento de la demanda y selección del método de pronóstico.** Se analizó el comportamiento de la producción diaria en el empaque de tomate Roma, con el objetivo de identificar el patrón de la serie de tiempo y aplicar el método de pronósticos correspondiente.

**Establecer políticas y parámetros del modelo.** Se definió como modelo de gestión de inventarios el sistema de revisión continua. Por la naturaleza del proceso. De igual manera, se establecieron los parámetros del modelo.

**Cálculo de los requerimientos de materiales.** Se realizó en hoja de cálculo el plan de requerimiento de materiales, considerando el pronóstico y las políticas de inventario.

**Validación del MRP.** Se modeló el sistema MRP calculado anteriormente mediante dinámica de sistemas para analizar su comportamiento del proceso de abastecimiento. El modelo creado ayudó para dar la aprobación a la lista de requerimientos de materiales y poder continuar con los pasos del método.

**Definir plan de adquisición ideal.** Se concentró el resultado de las órdenes de compra obtenidas del MRP en una tabla. Esta tabla es llamada lista de compras. Esta indica al tomador de decisiones que pedir, cuando, y cuánto.

**Clasificación de la importancia estratégica de los materiales.** Se clasificaron los productos necesarios para el empaque de tomate Roma en cuatro categorías. Estas cuatro categorías son; Productos estratégicos, Productos apalancados, Productos rutinarios y, por último, productos cuello de botella.

Estas cuatro categorías están basadas en la matriz de kraljic.

**Definir criterios de evaluación.** Nuevamente, mediante entrevista con las partes interesadas y lluvia de ideas se obtuvo información sobre los aspectos críticos para la selección de un proveedor. Con dicha información, se definieron cada uno de los criterios en cuatro niveles, además, se le dio una ponderación a cada uno de los criterios.

**Generar plantilla de evaluación de proveedores.** Se elaboró una plantilla de evaluación de proveedores que permita al tomador de decisiones hacer una evaluación rápida y clara de sus proveedores. Esta plantilla llevará un registro de cada evaluación que reciba el proveedor. Se estableció un criterio de selección de calificación mínima de 80%.

**Generar plantilla de evaluación y selección de proveedores.** Una vez evaluados los proveedores, se procedió con la selección de los mismos. En este apartado se documentó el proceso de selección de proveedores para sistematizar las buenas prácticas de este proceso.

## III. RESULTADOS

### a) Análisis del comportamiento de la demanda y método seleccionado

Se analizaron el patrón de la serie de tiempo de la producción semanal de empaque de las últimas tres temporadas de tomate Roma son mostradas en la gráfica de la Figura 3.

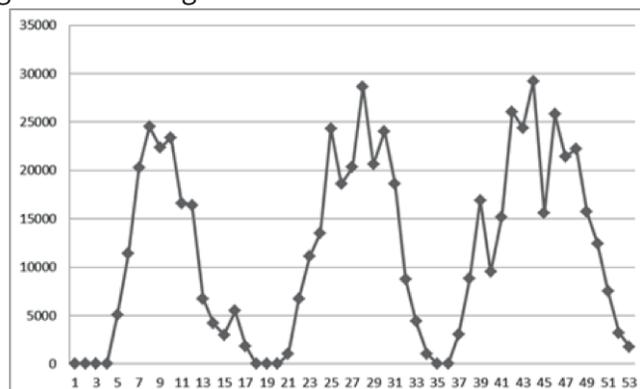


Figura 3. Patrón de series de tiempo de producción semanal de empaque

Cada uno de los puntos mostrados en la figura representa la cantidad de cajas producidas de tomate ROMA de 25 lb. El eje X representa el tiempo en semanas, en ella se muestran las tres temporadas analizadas. En el eje de las Y se muestran las unidades en cajas empacadas. Se puede observar que existe un patrón de la demanda con estacionalidad. Por tal caso se utilizó el método de Holt-Winters para la estimación de los pronósticos. Los resultados obtenidos, se muestran a continuación utilizando el software ForecastX, desarrollado por John Galt Solutions. En la figura se muestra con línea gris los datos históricos y línea negra el pronóstico de la demanda.

La tabla 2, muestra los pronósticos en donde se observa la proyección por semana y la suma total en el periodo de planeación. La suma total de los pronósticos es de 290,908.67 cajas empacadas de primera calidad.

**TABLA 2. PRONÓSTICO DE CAJAS EMPACADAS DE PRIMERA CALIDAD**

Periodo	Pronósticos
1	3,563.11
2	9,574.61
3	17,876.87
4	10,948.93
5	16,990.98
6	25,367.03
7	24,432.94
8	30,595.63
9	19,558.65
10	26,024.35
11	25,905.59
12	23,070.94
13	20,013.18
14	16,422.67
15	10,108.01
16	6,146.10
17	4,309.08
<b>TOTAL</b>	<b>290,908.67</b>

**b) Establecer políticas y parámetros del modelo**

Se sostuvieron pláticas con personal clave en el proceso y se decidió utilizar un modelo de revisión continua para cada uno de los productos utilizados para el empaque. Además, se establecieron los parámetros para el cálculo del sistema de revisión y se definieron las políticas de cada producto (cantidad a

ordenar (Q), inventarios de seguridad (safety stock), etc.). En la siguiente tabla 3 se concentra la información.

**TABLA 3. MODELO DE REVISIÓN CONTINUA PARA CADA UNO DE LOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN EMPAQUE**

MATERIAL	D	d	LT	Io	Ct	Ch	Cs	Q
Tarima	3,392	40	1	10	6.98	0.1	2	139
Cajas	274,090	3,225	3	13520	0.71	0.1	2	3,930
Etiquetas	274,090	3,225	1	2	87.45	0.1	2	354
Esquineros	13,568	160	2	531	0.31	0.1	2	1,323
Fleje	84,800	998	1	4	31.30	0.1	2	329
Grapas	16,960	200	1	3112	0.01	0.1	2	8,237

**c) Cálculo de los requerimientos de materiales (MRP)**

Cálculo de los requerimientos de materiales (MRP). Se utilizaron los datos de la tabla 4 anterior, para calcular los requerimientos de materiales (se muestran 7 semanas). Esta se obtuvo con la ayuda de una hoja de cálculo para facilitar el uso de los datos. En la tabla se muestra el Plan de requerimientos de materiales (MRP) para el producto de cajas.

**TABLA 4. REQUERIMIENTOS DE MATERIALES**

CAJAS	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas	2997	8424	16686	9396	15471	27216
Entradas Programadas						
Inventario en Mano	9674	9674	6677	9674	9674	278
Requerimiento Netos	0	1747	7012	0	15193	17542
Entradas Pedidos Planeados	0	11421	16686	0	24867	27216
Liberación de Pedidos	11421	16686	0	24867	27216	25677

La tabla arroja dos datos críticos, los cuales son la expedición de pedidos, que dice al tomador de decisiones cuando lanzar una orden de compra; el segundo dato es entradas pedidos plan la cual muestra cuando llegan esas órdenes al almacén. Además de estos datos, es importante señalar el

proyecto disponible, que es el inventario que se tiene a la fecha. Se calcularon 18 semanas para cada uno de los productos. Es importante señalar que estos datos están basados en el pronóstico realizado anteriormente.

#### d) Validación del MRP

El sistema MRP se modeló utilizando la técnica de dinámica de sistemas, primeramente, se realizó un diagrama causal, y posteriormente se procedió al desarrollo del modelo. El modelo se realizó para cada uno de los productos que se abordaron en el MRP. El modelo se presenta en la Figura 4.

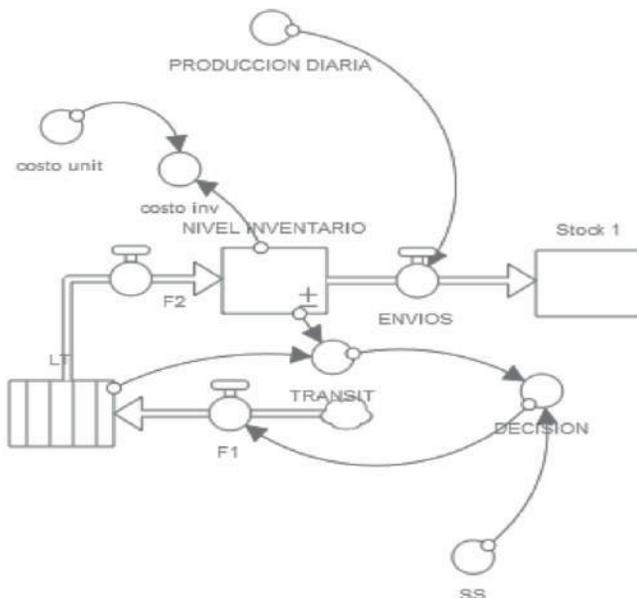


Figura 4. Modelo de Forrester para evaluación de inventarios

La Figura 5, muestra el modelo en la plataforma de Stella Architect, se alimenta de la producción diaria ya pronosticada, y de las políticas de inventario ya establecidas. Este modelo ayudó a validar el sistema MRP propuesto. El modelo arroja información crítica para saber si la organización tendrá o no faltantes con dicha política. A continuación, se muestra el resultado del modelo.

En la simulación se muestra el comportamiento de los inventarios de las 18 semanas pronosticadas. En línea azul se muestra el nivel de inventario a través del tiempo, y en rojo, se muestra el comportamiento de las órdenes realizadas. Se observa que el nivel de

inventarios se mantiene por encima del eje de las X, por lo tanto, no se presentan faltantes durante el periodo de planeación.

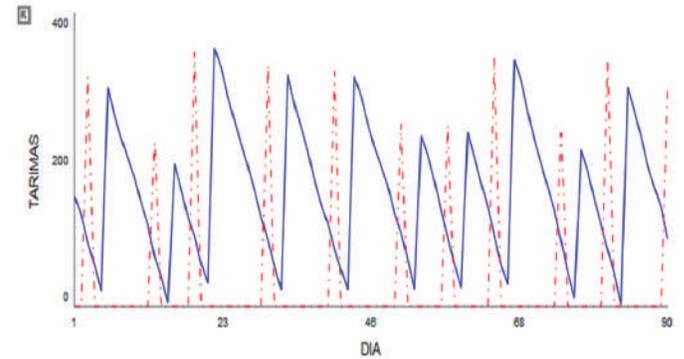


Figura 5. Simulación del comportamiento de Inventarios y órdenes realizadas por 18 meses

#### e) Definición del plan de adquisición

Se obtuvo el plan de compras, resultado del MRP. Esta lista de compras es el plan ideal que deberá seguir el tomador de decisiones para el empaque de cajas de 25 libras de tomate roma. En la tabla 5 se muestra el plan de compras para 6 semanas.

TABLA 5. PLAN DE COMPRAS DE LA EMPRESA

	1	2	3	4	5	6
TARIMA COMPLETA	37	104	206	116	191	336
TARIMA	141	206	116	191	336	317
FLEJE	0	4,673	2,900	4,775	8,400	7,925
ESQUINEROS	564	824	464	764	1,344	1,268
CAJAS	11,421	16,686	0	24,867	27,216	25,677
ETIQUETA	11,421	16,686	9,396	15,471	27,216	25,677
GRAPAS	705	1,030	580	955	1,680	1,585

#### f) Clasificación de Materiales por importancia estratégica

Mediante la matriz Kraljic se clasificaron los productos de empaque de la organización. Esta clasificación toma en cuenta la dificultad de conseguir los materiales, así como el riesgo de suministro por parte del proveedor. La matriz Kraljic se muestra en la Figura 6.

En la Figura se observan los materiales que se están tomando en cuenta para el plan de compras, los cuales son agrupados por el riesgo de suministro y el impacto de la compra, donde el cartón es un producto

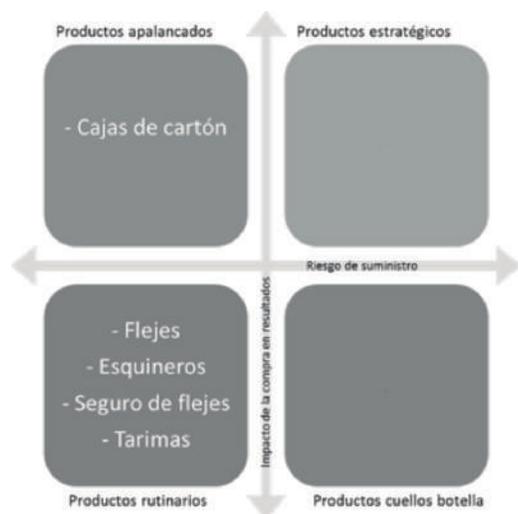


Figura 6. Matriz Kraljic para materiales Clasificados

apalancado, lo cual quiere decir que este producto se tiene que comprar en cantidades altas ya que el proveedor no se encuentra en la misma ciudad. Sin embargo, el resto de los productos están en la categoría de rutinarios, ya que los proveedores son locales y existen más proveedores en la ciudad.

**g) Definición de los Criterios de evaluación definidos**

Se utilizó la técnica de lluvia de ideas con las partes interesadas para lograr definir a todos esos criterios que son críticos para la selección de un proveedor. Al tener los criterios críticos de selección, se definieron cada uno de estos y se les asignó una ponderación. La Tabla 6, resume toda la información obtenida.

TABLA 6. PLAN DE COMPRAS DE LA EMPRESA

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN				PONDERACIÓN
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	MALO	
PRECIO	El mejor del mercado con descuento (más bajo)	Competitivo con tasas de descuentos	Favorable con flexibilidad en la negociación	El más caro del mercado	35
CALIDAD	Posee departamento de calidad y certificaciones del producto (ISO9001)	Cuenta con departamento de calidad y cumple con alguna certificaciones	Cuenta con departamento de calidad pero no cumple con certificaciones	No cuenta con departamento de calidad ni certificaciones	25
PAGO	Ofrece crédito por 30 días o más	Crédito entre 20 y 30 días	Crédito entre 10 y 20 días	Pago de Contado	10
PLAZO DE ENTREGA	Inmediata, en el mismo día	Al siguiente día o hasta dos días hábiles	Una semana	Más de una semana	20
GARANTÍA	El proveedor brinda garantía de sus productos por un año	Cuenta con garantía de seis meses	Cuenta con garantía de tres meses	No cuenta con garantía	10

**h) Generación de la Plantilla de evaluación y selección de proveedores generada**

Se elaboró una plantilla en una hoja de cálculo la cual permite al tomador de decisiones realizar una fácil evaluación a los proveedores de sus productos de empaque. La Tabla 7 muestra una parte de la plantilla.

TABLA 7. PLAN DE COMPRAS DE LA EMPRESA

PROVEEDOR	CRITERIO	CALIFICACIÓN				CUMPLIMIENTO
		EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	MALO	
1	PRECIO	1				75%
2	CALIDAD		1			
3	PAGO			1		
4	PLAZO DE ENTREGA		1			
5	GARANTÍA				1	

La plantilla muestra los criterios anteriormente establecidos. El tomador de decisiones evaluará al proveedor asignando un número "1" en la casilla que considere adecuada para el proveedor. Una vez terminado, la plantilla arroja el resultado del proveedor. En este caso, el proveedor recibió una calificación de 75%, por lo tanto, no es un proveedor indicado para la organización. Todos los proveedores que obtuvieron una calificación mayor o igual a 80 % pasan a la siguiente fase que es la evaluación y selección.

**IV. CONCLUSIONES**

El presente estudio logra atender la necesidad de la organización de realizar un proyecto que logre llevar un control con los inventarios del área de empaque de tomate roma.

La metodología propuesta logró cumplir con el objetivo de gestionar los inventarios del área de empaque de tomate roma con el fin de asegurar la disponibilidad del producto. Esta metodología lleva de la mano al tomador de decisiones de tal manera que le permita seguir implementando este proyecto en futuras temporadas. La metodología utilizada busca integrar a todas las partes interesadas de la cadena de suministro para lograr una relación ganar-ganar.

El uso de la dinámica de sistemas ayudó a validar el plan de compras. Se observó que no hubo faltantes durante los días simulados. Esta herramienta a diferencia de las metodologías consultadas en este trabajo, permitirá al tomador de decisiones obtener escenarios con las políticas de inventario y ver el comportamiento de sus inventarios antes de llevarlo a cabo.

## REFERENCIAS

- [1] Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 223-236.
- [2] Acar, Y., & Jr., E. S. (2012). Forecasting method selection in a global supply chain. *International Journal of forecasting*, 842-848.
- [3] Agrawal, A. (2014). Managing raw material in supply chains. *European Journal of Operational Research*, 685-698.
- [4] Alcaraz, J. L., Iniesta, A. A., & Macias, A. A. (2013). Selección de proveedores basada en análisis dimensional. *Contaduría y administración*, 249-278.
- [5] Arango, M. D., Cano, J. A., & Álvarez, K. C. (Diciembre de 2012). Modelos de sistemas MRP cerrados integrando incertidumbre. *Revista EIA*, 18, 61-76.
- [6] Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro* (5ta ed.). México: Pearson Educación.
- [7] Banks, J., Buckley, S., Jain, S., Lendermann, P., & Manivannan, M. (2002). Panel session: Opportunities for simulation in supply chain management. En E. Yucesan, C. H. Chen, J. L. Snowdon, & J. M. Charnes, *Proceedings of the 2002 winter simulation conference* (págs. 1652-1658). San Diego: Winter Simulation Conference Board of Directors.
- [8] Batista, J. A., & Armayor, D. P. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministros. *Ingeniería Industrial*, 126-132.
- [9] Benitez, L. A., & Guzmán, V. E. (2011). Metodología para el control y la gestión de inventarios de una empresa minorista de electrodomésticos. *Scientia et technica*, 85-91.
- [10] Boer, L. d., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European journal of purchasing and supply management*, 75-89.
- [11] Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministro*. México: McGraw Hill.
- [12] Chase, R. B. (2009). *Administración de Operaciones producción y cadena de suministros*. México: Mc Graw Hill.
- [13] Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro* (Quinta ed.). México: Pearson Educación.
- [14] Corral, A. S. (2014). *Administración de compras*. Mexico: Grupo editorial patria.
- [15] Dai, J., Peng, S., & Li, S. (2017). Mitigation of bullwhip effect in supply chain inventory management model. *Procedia Engineering*, 1229-1234.
- [16] Darling, M., & Wise, S. (2010). Not your father's supply chain. *Material Management in Healthcare*, 30-33.
- [17] Doherty, K. (2004). Inventory: Forecasting gets more accurate. *Food Logistics*(67), 14-18.
- [18] Dong, Y., Carter, C. R., & Dresner, M. E. (2001). JIT purchasing and performance: an exploratory analysis of buyer and supplier perspectives. *Journal of Operations Management*, 19(4), 471-483.
- [19] EAE Business School. (Mayo de 2016). EAE Business School. (EAE, Ed.) Recuperado el 08 de Agosto de 2017, de [www.eae.es](http://www.eae.es): <http://www.eae.es/actualidad/noticias/los-espanoles-son-los-segundos-mayores-consumidores-de-fruta-y-verdura-en-el-mundo-con-454-en-2015>
- [20] El economista. (24 de junio de 2017). El economista. Obtenido de [eleconomista.com.mx](http://eleconomista.com.mx): <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/10/28/las-frutas-hortalizas-mexico-i>
- [21] El Financiero. (9 de julio de 2017). El Financiero. Obtenido de [www.elfinanciero.com.mx](http://www.elfinanciero.com.mx): <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/exportaciones-mexicanas-a-eu-alcanzan-participacion-record-en-2016.html>
- [22] Enns, S. T. (2002). MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty. *European Journal of*

- Operational Research, 138(1), 87 - 102. Recuperado el 02 de Agosto de 2018, de <https://www-sciencedirect-com.itson.idm.oclc.org/science/article/pii/S0377221701001345>
- [24] FAO. (28 de octubre de 2016). Depósito de documentos de la FAO. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557so6.htm#e>
- [25] FAO. (9 de julio de 2017). Anuario estadístico de la fao 2014. Obtenido de [www.fao.org](http://www.fao.org): <http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf>
- [26] FAOSTAT. (9 de julio de 2017). Faostat. Obtenido de [www.fao.org](http://www.fao.org): [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)
- [27] Fildes, R., & Kingsman, B. (2010). Incorporating demand uncertainty and forecast error in supply chain planning models. *Journal of the Operational Research Society*, 483-500.
- [28] Forrester, J. W. (2009). Some basic concepts in system dynamics. *Sloan School of Management*.
- [29] Gomez, P. S. (2015). Inventory and service level optimization. *Hospitalidad ESDAI*, 101-115.
- [30] Gonzalez, M. E. (10 de Abril de 2017). *LogisticaMX*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de <http://www.logisticamx.enfasis.com>: <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/77558-6-errores-que-se-cometen-los-pronosticos-demanda->
- [31] Guevara, E. G. (2018). Identification of practices in sustainable supply chain management for the food industry. *Pensamiento y gestión*, 129-160.
- [32] Guinipero, L. C., & Neal, C. O. (1988). Obstacles to JIT procurement. *Industrial Marketing Management*, 35-41.
- [33] Gunasekaran, A., & ngai, E. W. (2004). Information systems in supply chain integration and management. *European Journal of Operational Research*, 269-295.
- [34] Hasbleid, Z., & Sanchez, V. (2014). Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos. *Revista científica ingeniería y desarrollo*, 32, 138-154.
- [35] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. Australia: OText.
- [36] Jonsson, P., & Ivert, L. K. (2015). Improving performance with sophisticated master production scheduling. *international journal of production economics*, 118-130.
- [37] Krajewsky, I. J., & Ritzman, L. P. (1998). *Operations management. Strategy and analysis*. Phoenix: addison wesley publishing company.
- [38] Lane, D. C., & Sterman, J. D. (2011). Pioneers and innovators . En S. Gass, & A. Assad, *Profiles in operations research* (págs. 363-386). New York : Springer.
- [39] Lee, H., & Padmanabhan, V. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, 93-102.
- [40] Luis, J. (s.f.).
- [41] Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting. Methods and applications*. Wiley India Pvt.
- [42] Michel, R. (Febrero de 2016). 6 best practices for better inventory management. *Logistics Management*, págs. 44-48. Obtenido de [logisticsmgmt.com](http://logisticsmgmt.com).
- [43] Miño-Castante, G., Saumel-Fonseca, E., Borrego, A. T., Ruenes, A. R., & García, R. R. (2014). Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP. *Caso Laboratorio Farmacéutico Oriente Cuba. Tecnología química*, XXXV, 248-260. Recuperado el 06 de Junio de 2018, de <http://web.a.ebscohost.com.itson.idm.oclc.org/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=ee7dd2a8-48b9-4873-9a6c-1832315a9bf7%40sessionmgr4008>
- [44] Monczka, R. M., Handfield, R. B., Guinipero, L. C., & Patterson, J. L. (2009). *Purchasing and supply chain management*. Mason: South-Western Cengage Learning.
- [45] Monzo, J. E., Llido, V. S., & Garcia, A. M. (2014). *Gestión de compras*. Madrid: Mc Graw Hill.
- [46] Moustakis, V. (2010). *Material Requirements Planning MRP*. *Revista Virtual Pro*.
- [47] Navarro, K. S., Mejia, H. M., & Chedid, J. A. (2017). Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro. *Revista chilena de ingeniería*, 326-337.
- [48] Nicolas, C. L., & Castillo, F. J. (2008). Customer Knowledge Management and E-commerce: The role of customer perceived risk. *International Journal of Information Management*, 102-113.

- [49] Pastore, E., Alfieri, A., & Zotteri, G. (2017). An empirical investigation on the antecedents of the bullwhip effect: Evidence from the spare parts industry. *International Journal of Production Economics*, 1-13.
- [50] Periodico la jornada. (18 de Febrero de 2015). La jornada en línea. Recuperado el 10 de Agosto de 2017, de [www.jornada.unam.mx](http://www.jornada.unam.mx): <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/02/18/mexicanos-comen-solo-58-de-frutas-y-verduras-recomendables-al-dia-3009.html>
- [51] Petropoulos, F., Wang, X., & Disney, S. M. (2018). performance of forecasting methods: Evidence from the M3 competition data. *International Journal of Forecasting*.
- [52] Real Academia Española. (15 de Enero de 2019). Real Academia Española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>: <https://dle.rae.es/?id=TtAtLcR>
- [53] Reyes, J. C., & Alvarado, J. F. (2014). *Contabilidad para administradores*. México: Grupo Editorial Patria.
- [54] Rodriguez, E. C. (2015). Modelo de inventarios para control económico de pedidos en empresa comercializadora de alimentos. *Revista ingenierías universidad de medellin*, 163-178.
- [55] S.Seuring, & Muller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 1699-1710.
- [56] Saedi, S., Kundakcioglu, E., & Henry, A. C. (2016). Mitigating the impact of drug shortages for a healthcare facility: An inventory management approach. *European Journal of Operational Research*, 107-123.
- [57] SAGARPA. (9 de julio de 2017). balanza comercial agroalimentaria. Obtenido de [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx): [http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents/2016\\_08\\_18\\_Balanza\\_Agroalimentaria\\_enero\\_junio\\_EU.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents/2016_08_18_Balanza_Agroalimentaria_enero_junio_EU.pdf)
- [58] Sanchez, J. E., & Garcia, S. H. (2002). Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 02 de Noviembre de 2017, de [www.imt.mx](http://www.imt.mx): <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt215.pdf>
- [59] Serna, M. D., Jaimes, W. A., & Cortes, J. A. (2013). Inventarios colaborativos en la optimización de la cadena de suministros. *Dyna*, 71-80.
- [60] Shroeder, R. G., Goldstein, S. M., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de operaciones conceptos y casos contemporáneos* (5ta ed.). (J. M. Chacon, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill.
- [61] SIAP. (2015). *Sonora infografía agroalimentaria*.
- [62] SIAP. (9 de julio de 2017). *Atlas agroalimentario 2016*. Obtenido de <http://www.gob.mx/siap/>: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/transparencia.html>
- [63] Stadnicka, D., & Litwin, P. (2019). Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis. *International Journal of Production Economics*, 400-411.
- [64] Suryaningrat, I. B. (2016). Raw material procurement on agroindustrial supply chain management: A case survey of fruit processing industries in Indonesia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 253-257.
- [65] Tortorella, G. L., Miorando, R., & Marodin, G. (2017). Lean Supply Management: Empirical research on practices, contexts and performance. *International Journal of Production Economics*, 193, 98-112.
- [66] Vargas, V., & Metters, R. (2011). A master production scheduling procedure for stochastic demand and rolling planning horizons. *International Journal of Production Economics*, 132(2), 296 - 302.
- [67] Villamizar, J. C., León, O. P., & Jaimes, W. A. (2013). Efecto látigo en la planeación de la cadena de abastecimiento, medición y control. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 37-54.
- [68] Wang, X., & Disney, S. M. (2015). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 691-701.
- [69] Wu, M., Shen, Q., Xu, M., & Wu, D. (2013). Modeling stockout risk and JIT purchasing in ready-mixed concrete batching plants. *International Journal of Production Economics*, 14-19.
- [70] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references)

[71] J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

[72] I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.

[73] K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.

[74] R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.

[75] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].

[76] M. Young, *The Technical Writer’s Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

# Dinámica de sistemas: solución tecnológica para la cadena de suministro del cerdo en una empresa del sur de Sonora

Arana Pedraza, Ana Karina  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Cárdenas Aguilar, Karla Lilian  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Gutiérrez Delgado, Patricia Jacquelin  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Lagarda Lujan, Arturo Leonel  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Pérez Delgadillo, Angélica Abigail  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Robles Armenta, César Guillermo  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Salido Saucedo, Francisco Xavier  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

Verdugo Covarrubias, Sergio Israel  
Estudiante de IIS (Logística)  
Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON  
Ciudad Obregón, Sonora, México

---

*Resumen—Se plantea a continuación el caso de estudio elaborado en el semestre enero-mayo del año 2021 para una organización porcícola del giro agroindustrial. El objetivo del caso de estudio es la construcción de interfaces dinámicas, las cuales permitan la evaluación y toma de decisiones organizacionales en distintos escenarios de los eslabones de la cadena de suministro. Se trabaja para que la interfaz dinámica elaborada sea una herramienta para tratar con el problema de los altos niveles de decomiso cárnico en la organización. El estudio se trabajó siguiendo una metodología de cuatro fases fundamentada en dinámica de sistemas. Con su elaboración se obtuvieron distintos resultados para la organización, pero los más relevantes fueron la construcción de dos interfaces dinámicas, la primera evaluando los eslabones de abastecimiento y producción y, la segunda, los eslabones de distribución y logística inversa; estas interfaces se utilizarán para realizar el análisis y la manipulación de valores con la tarea de lograr efectuar una óptima toma de decisiones administrativas que permitan reducir los altos niveles de decomiso cárnico en la organización. Con base en la construcción del modelo de dinámica de sistemas y mediante la manipulación de variables del mismo, se realizaron comparaciones del escenario actual con distintos escenarios optimistas y pesimistas, lo que permite al usuario visualizar el comportamiento de la cadena de suministro bajo distintos escenarios probables. Por último, en el eslabón de logística inversa se plantearon alternativas para el uso de los distintos desperdicios generados a lo largo de la cadena de suministro.*

*Palabras Clave— cadena de suministro, interfaz dinámica, escenarios, dinámica de sistemas, agroindustria.*

## I. INTRODUCCIÓN

La dinámica de sistemas es una metodología, la cual, puede llegar a facilitar de gran manera el análisis de una cadena de suministro, esta herramienta ayuda principalmente, al análisis y modelado del comportamiento temporal que se puedan llegar a presentar en diferentes entornos complejos, Inicialmente se concibió para estudiar los problemas que se presentan en determinadas empresas [1].

Debido a los cambios que han sucedido en las dos últimas décadas en todo el mundo, es necesario reevaluar la manera en la que las empresas se están presentando actualmente en el mercado. Los cambios como la globalización de mercados, los TLC, la tecnología y la política obligan a las empresas a tener una estructuración más flexible que permita fácilmente una adaptabilidad al cambio emergente [2]. En la empresa bajo estudio se busca la implementación de acciones que logren solventar los problemas en la cadena de suministro. La empresa actualmente cuenta con granjas, plantas de producción y áreas de distribución para la gestión de la cadena de suministro. La empresa labora bajo la siguiente filosofía organizacional:

*Misión:* Colocar en el mercado productos alimenticios certificados, garantizando la satisfacción de nuestros clientes, personal y accionistas.

*Visión:* Ser una empresa de clase mundial que genere valor a su entorno.

La organización maneja un proceso establecido representado en un mapa estratégico de su cadena de suministro, en base a esto se busca lograr una solución de las problemáticas en la cadena de suministro mediante el desarrollo de herramientas tecnológicas.

El objetivo estratégico del proyecto es la construcción de modelos que contemplen los eslabones de abastecimiento, producción, distribución y logística inversa, para obtener una representación adecuada del entorno y con esto observar el panorama actual y aspectos no evaluados, con esto se comprenderá de mejor manera el funcionamiento de la cadena de

suministro y se identificaran las variables críticas de impacto en la organización lo cual permitirá al usuario tomar mejores decisiones administrativas en base a información cuantitativa representada en tablas y gráficos.

### A. Planteamiento del problema

Mediante el análisis de los eslabones de la cadena de suministro se puede determinar que existe la necesidad de llevar a cabo un proyecto el cual responda a la problemática ocasionada por los siguientes puntos:

1. Generación de retrabajo y desperdicio de material de empaque, las piezas presentan diferentes defectivos tales como: Pliegues, materia orgánica, bolsa rota, hueso, cuero, PSE, flacidez, fibra, guante, plástico.
2. Abastecimiento de cerdo por debajo del peso normal.
3. Niveles altos de decomiso cárnico, resultando una pérdida monetaria para la organización.
4. Productividad del personal inferior al estándar.
5. Demoras en las líneas de procesamiento.

Una vez analizada la situación de la organización e identificando la problemática se plantea la siguiente pregunta de investigación:

*¿Cómo la empresa logrará evaluar el desempeño de los eslabones de abastecimiento y producción de la cadena de suministro del cerdo, para reducir pérdidas causadas por decomiso cárnico?*

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1. Dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una metodología ideada para resolver problemas concretos. Inicialmente se concibió para estudiar los problemas que se presentan en determinadas empresas en las que los retrasos en la transmisión de información, unido a la existencia de estructuras de realimentación, dan lugar a modos de comportamiento no deseables, normalmente de tipo oscilatorio [1].

## 2. Cadena de suministro

Una cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer la petición de un cliente. La cadena de suministro incluye no sólo al fabricante y los proveedores, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (menudeo), e incluso a los clientes mismos [3].

## 3. Agroindustria

El concepto Agroindustria implica el manejo, preservación y transformación industrial de las materias primas provenientes de la agricultura, la ganadería, el sector forestal y el pesquero, orientándose para un uso específico del consumidor, todo ello enmarcado en el sistema agroalimentario [4].

## 4. Diagrama causal.

Es una herramienta la cual se usa para ordenar los conceptos que intervienen en nuestro análisis y las relaciones que existen entre ellos, y es la base del Stock and Flow Diagram, que se suele traducir por Diagrama de Flujos de forma poco preciso, también se utiliza para explicar las conclusiones del trabajo realizado, ya que son un formato muy claro e intuitivo [5].

## 5. Diagrama Forrester

El diagrama de Forrester es una representación simbólica de las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal una vez identificadas y constituye un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que le corresponde. Los elementos que intervienen en un diagrama causal se representan por medio de variables que pueden ser de tres tipos: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares [6].

Finalmente, la dinámica de sistemas estudia las características de la retroalimentación de la información, principalmente dentro de la actividad industrial, con el propósito de aclarar la estructura organizacional, extensión de políticas y demoras (en acciones y decisiones) que interactúan e impactan el éxito de las organizaciones. Su objetivo de estudio se basa en el examen de las interacciones entre el flujo de información de la empresa, dinero, pedidos, materiales, personal y equipo que surgen en el entorno empresarial,

como en la inestabilidad productiva y laboral, porque estas interacciones dan forma a los supuestos de las empresas sobre la dificultad de experimentar y reiterar la crítica [7,8,9,10].

Para comprender mejor las variables de comportamiento que están condicionadas por las políticas organizacionales, se ha desarrollado una interfaz para que el usuario observe diferentes escenarios a través de la variación de los parámetros más sensibles. Los escenarios pueden llevar a reflexionar sobre los considerables cambios que se están produciendo en la educación y su entorno más integral, lo que puede aclarar la visión de lo que se desea en educación y cómo alcanzar estas metas mediante el análisis de las variables negativas que deben evitarse [11, 12,13,14, 15].

## A. Objetivo

Elaborar una interfaz dinámica para el análisis de escenarios y evaluación de desempeño de los eslabones de la cadena de suministro del cerdo buscando reducir pérdidas causadas por decomiso cárnico.

## III. MÉTODO

Para la elaboración del proyecto se utilizó como base la dinámica de sistemas, se dividieron en 4 etapas como se muestra a continuación en la Figura 1:

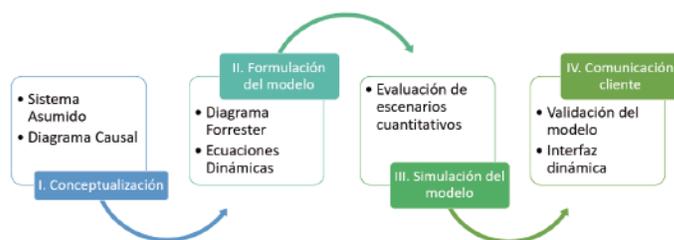


Figura 1. Diagrama de conceptualización de las etapas de la metodología para el desarrollo del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

La metodología comienza con el apartado de la conceptualización en donde se identifica y mapea el sistema asumido por eslabón. Una vez realizado el mapeo se procede a realizar los diagramas causales por eslabón con el fin de observar las relaciones entre las variables del proceso.

En la etapa de formulación del modelo se trabaja con la representación del modelo mediante el desarrollo del diagrama Forrester con sus respectivas ecuaciones. Se continúa en la parte de simulación de modelo en donde se plantean escenarios optimistas y pesimistas para compararlos con los resultados del escenario actual. Por último, se realiza el apartado de comunicación con el cliente en donde se valida el modelo mediante la prueba de extremos y consistencia de unidades, para entregar finalmente una interfaz dinámica con la cual el usuario pueda interpretar y manipular la información para la óptima toma de decisiones.

#### IV. RESULTADOS

##### A. Sistema asumido

1. **Abastecimiento:** En el eslabón de abastecimiento se tiene la llegada del cerdo y es donde se realiza el sacrificio del mismo, trabajando al 80% de su capacidad con el fin de poder abastecer correctamente la producción y sin obtener muchos desperdicios de ellos a causa de falta de demanda. Dicha capacidad permite abastecer a producción con aproximadamente 720 cerdos, teniendo una recepción de 800 la cual disminuye debido a las tasas de desperdicio en el proceso. En la Figura 2, se muestra la conceptualización del eslabón de abastecimiento.



Figura 2. Diagrama de conceptualización del eslabón de abastecimiento de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

2. **Producción:** El eslabón de producción, comienza con la recepción de cerdo desde almacén en frío hacia el área de separación la cual se encuentra dividida en tres líneas de operación que, además de trabajar distintas partes del cerdo en separación, se realiza también el deshuese y detallado del cerdo. El eslabón de producción, al igual

que el área de abastecimiento, trabaja al 80% de su capacidad, generando aproximadamente 11 mil kilogramos de carne de cerdo destinados a exportación y 26 mil kilogramos destinados al mercado nacional, con las tasas de desperdicio del proceso ya sustraídas. En la Figura 3, se muestra la conceptualización del eslabón de producción. realizar estas oportunidades contra el impacto que estas generan a la organización. La matriz quedó conformada de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 2:



Figura 3. Diagrama de conceptualización del eslabón de producción de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

3. **Distribución:** El eslabón de distribución se encarga de la recepción, almacenamiento y entrega de productos a los clientes, se asegura de que los bienes se encuentren en el lugar y estado correcto para que la empresa sea capaz de maximizar sus ventas y beneficios. El proceso inicia con la recepción de pedidos y termina hasta que es entregado al cliente. Se busca que el consumidor reciba su producto en perfecto estado, en el momento y en el lugar indicado sin costos excesivos. A continuación, en la Figura 4, se muestra la conceptualización de la cadena de suministro para el eslabón.



4. Logística Inversa: El eslabón de logística inversa está relacionado con todos los eslabones de la cadena de suministro, considerando como entradas a aquellos decomisos cárnicos en abastecimiento con una tasa de 10% y en producción con 12%, así como desperdicios de empaque con 7% y en el eslabón de distribución con un 20% de tarimas inutilizables, cada uno de estos elementos pasa por un proceso determinado para aprovecharlos al máximo y generar ganancias para la organización tomando en cuenta que el 15% del decomiso cárnico total no puede ser aprovechado.

**B. Diagrama Causal**

En este apartado se muestran los diagramas causales de cada eslabón de la cadena de suministro del cerdo, en ellos se representan las variables y parámetros que permiten que el proceso funcione de manera correcta, y estos se presentan con el fin de conceptualizar el comportamiento de cada eslabón, habiendo analizado correctamente el proceso productivo de cada uno. En este caso, se realizaron cuatro diagramas, los cuales representan los eslabones mencionados en el apartado de Sistema Asumido y, para esto, se presenta primeramente la Figura 5, que muestra el diagrama causal del proceso de abastecimiento.

Prosiguiendo con los eslabones de la cadena de suministro del cerdo, se tiene a continuación el eslabón correspondiente a producción, el cual puede verse en la Figura 6 que muestra el diagrama causal correspondiente a éste.

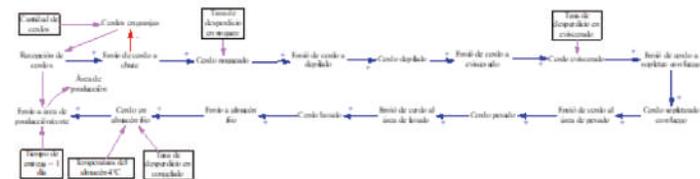


Figura 5. Diagrama causal del proceso de abastecimiento de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

El diagrama causal del proceso de abastecimiento de la empresa, éste da inicio en la recepción del cerdo proveniente de los cerdos en granja, los cuales son noqueados para después ser depilados, eviscerados, sopleteados con fuego y pesados para posteriormente ser lavados, enviados a un almacén frío y, finalmente, proceder a su envío al área de producción. Además, se encuentran ciertos parámetros que sirven para que el proceso funcione correctamente de acuerdo a lo que la empresa ha establecido.



Figura 6. Diagrama causal del proceso de producción de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama causal del proceso de producción de la empresa, el cual continúa donde termina la etapa de abastecimiento. Dentro de este eslabón, el cerdo es separado en tres líneas, las cuales pasan por un proceso de separación, deshuese y detallado para después agruparse en la banda de empaque para su empaquetado. Seguido de esto, se separa en dos líneas donde el producto es enviado a exportaciones o a producto nacional para finalmente ser pesado y almacenado.

A continuación, en la Figura 7, se muestra el diagrama causal del proceso de distribución del cerdo, en él se presentan las principales variables involucradas, así como las relaciones entre las mismas.

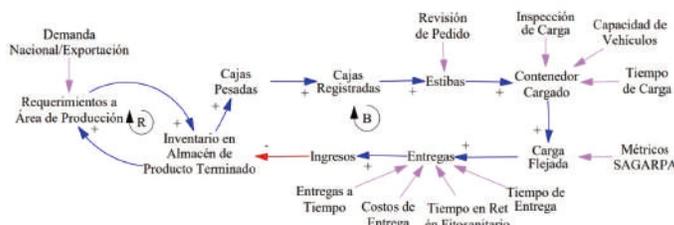


Figura 7. Diagrama causal del proceso de distribución de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

El diagrama causal inicia con los requerimientos al área de producción, que es donde se surte el producto necesario al almacén de producto terminado. Después se pesan y registran las cajas, para proceder a almacenar por estibas; una vez estibadas, se revisa el pedido y se carga el contenedor, seguido de esto, se

inspecciona la carga y se fleja de acuerdo a los métricos de SAGARPA. Ya una vez terminada la operación, se procede a realizar las entregas por las cuales se generan ingresos para la organización.

Por último, en la Figura 8, se muestra el diagrama causal para el área de logística inversa, que es donde se analiza el retorno y disposición de tarimas o pallets, así como el desperdicio de empaques y decomiso cárnico.

parte del desperdicio, la cual puede convertirse en materia prima para la elaboración de embutidos, en donde, entre más cantidad ingrese, más cantidad se prepara y procesa para embutir y pasar por el proceso de cocción y curado, generando así una mayor cantidad de producto terminado y, por lo tanto, más ventas.

### C. Diagrama Forrester

El modelo se dividió en cuatro apartados (abastecimiento, producción, distribución y logística inversa) y fueron desarrollados con el software Stella Professional®. El artículo se enfocará en el estudio de la cadena de suministro del cerdo en el sector agroindustrial del sur de Sonora. Y para comenzar, en la Figura 9 se puede observar el diagrama Forrester del proceso de abastecimiento de la cadena de suministro del cerdo.

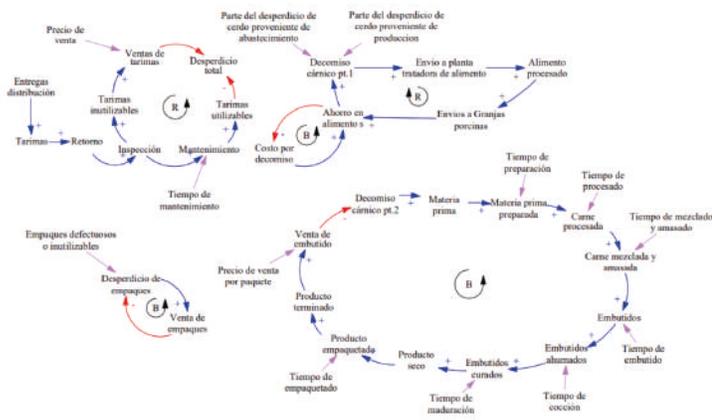


Figura 8. Diagrama causal del proceso de logística inversa de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

Se identifica el proceso de retorno de tarimas a la empresa, una vez que se completan las entregas de producto terminado a los clientes. Todas las unidades pasan por una inspección en donde se determina si al aplicarles un mantenimiento pueden volver a utilizarse o, si son inutilizables y pueden ser vendidas y contrarrestar el desperdicio.

Por otro lado, considerando aquellos empaques que resultaron defectuosos o tuvieron algún desperfecto y, que por lo tanto, no son aptos para utilizarse para el empaque de producto terminado, se propone la venta al público en general, con el fin de reducir el impacto que esto tiene a los costos de la organización.

Con relación al decomiso cárnico, se presentan dos situaciones. En la primera, se considera una parte del desperdicio para enviar a una planta tratadora de alimento, en donde se procesa y envía a las granjas porcinas, produciéndose un ahorro en el alimento necesario para la nutrición de los cerdos y reduciendo el costo del decomiso. Por otra parte, se considera a la otra

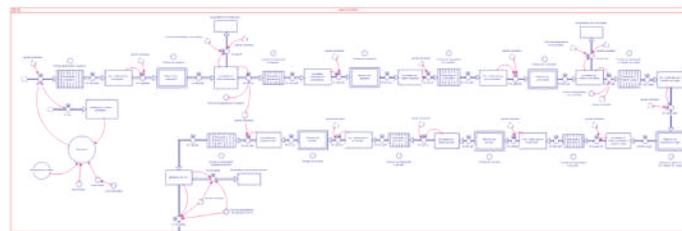


Figura 9. Diagrama Forrester del proceso de abastecimiento de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

El modelo de abastecimiento para la cadena de suministro del cerdo, este comienza con las recepciones de cerdo desde las granjas las cuales pasan por distintos procesos como noqueado, depilado, eviscerado, sopleteo con fuego, pesado y lavado, para finalmente ser transportado al almacén en frío. En este proceso existe un transporte mediante bandas y procesamiento del cerdo, a algunas de estas actividades se le asocian tasas de desperdicio.

Siguiendo con el proceso de la cadena de suministro, a continuación, en la Figura 10, se puede apreciar el diagrama Forrester del proceso de producción de la cadena de suministro del cerdo.

El proceso comienza desde la salida de los cerdos del almacén en frío; estos pasan por un proceso de separación por distintos tipos de cortes que, a su vez, se separan hacia tres líneas de producción en las cuales ocurren los procesos de deshuese y detallado.

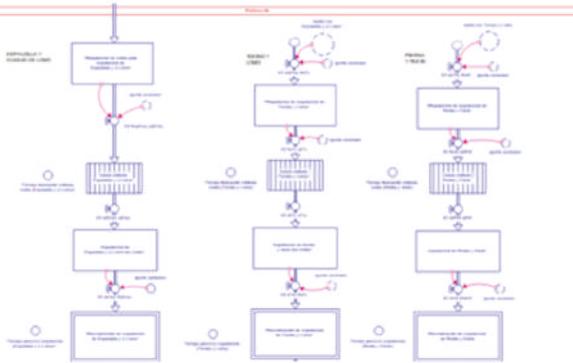


Figura 10. Diagrama Forrester del proceso de producción de la cadena de suministro del cerdo.

Fuente: elaboración propia.

Una vez concluido esto, se unen en una banda para su empaque en donde se separan por producto destinado al mercado nacional y al de exportación para, finalmente, ser inspeccionado, pesado y almacenado. En el modelo se representan los transportes mediante bandas y los procesos de producción en hornos. Así como también, existen tasas de desperdicio asociadas a los procesos de separación, deshuese, detalle y empaquetado.

El siguiente proceso es el relacionado con la distribución del producto fresco y congelado en almacén para los dos tipos de mercado. En la Figura 11, se muestra el Diagrama Forrester correspondiente.

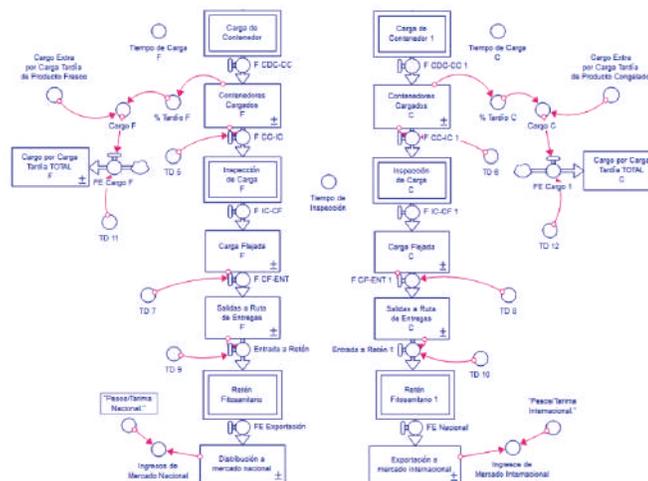


Figura 11. Diagrama Forrester del proceso de distribución de la cadena de suministro del cerdo.

Fuente: elaboración propia.

El modelo de distribución de la cadena de suministro del cerdo para la empresa bajo estudio, el cual inicia con la llegada del producto congelado y fresco al

almacén en donde será calificado para su exportación nacional o internacional. Posteriormente, se comienza el proceso de carga y registro para el control de pedidos, en el que se realiza una serie de inspecciones y revisiones muy importantes para la empresa bajo estudio en relación con la carga del producto. Cuando este está empaquetado y cargado, se comienza con la ruta de salida, que es donde se realiza una espera en un retén fitosanitario, y así, posteriormente pasar al mercado nacional o de exportación internacional.

A continuación, en la Figura 12, es posible observar el Diagrama Forrester del proceso de logística inversa de la cadena de suministro del cerdo.

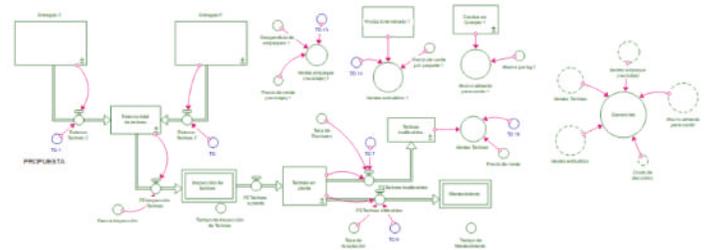


Figura 12. Diagrama Forrester del proceso de logística inversa de la cadena de suministro del cerdo

Fuente: elaboración propia.

El modelo de logística inversa de la cadena de suministro para la empresa bajo estudio, el cual se divide en cuatro etapas, considerando una etapa para cada tipo de decomiso. Antes de que las tarimas pasen al proceso de logística inversa, primero deben pasar por una inspección donde se determina si es factible realizar un mantenimiento para que sigan en el proceso, o que por el contrario, ya no puedan utilizarse y sean dirigidas a su venta.

Se continúa con el decomiso cárnico, el cual se divide en dos secciones. La primera es el envío a una planta tratadora de alimento para cerdo; en este proceso se transforma el desperdicio en alimento y después se envía a las granjas porcinas de la empresa. La siguiente sección corresponde al proceso de elaboración de embutidos, que es donde se utiliza una parte del decomiso para la elaboración de estos y, por último, se tiene el de los empaques defectuosos que se reciclan o se venden para finalmente traducir todo en ganancias mediante la sumatoria de los ingresos por venta de

todos los productos, restando el costo del decomiso que no es posible aprovechar.

**D. Ecuaciones del modelo**

A continuación, en la Tabla 1, se muestran los elementos utilizados en la ilustración del proceso por medio del diagrama Forrester, para la representación de las variables de nivel, de flujo y auxiliares.

TABLA 1. ECUACIONES DEL MODELO

Simbología	Columna de Título de Tabla	
	Nombre	Utilización
	Stock	Inventarios o acumulación de información.
	Horno	Procesos con retraso en la transmisión de información o material.
	Banda	Distribución de material.
	Fila	Movimiento de material en un tiempo determinado.
	Flujo Entrada/ Salida	Entrada o salida de material e información.
	Parámetro	Utilizado para tasas de desperdicio y tiempos manipulables.
	Variable Auxiliar	Conexiones y ajustes a variables (convertidores de unidades).
	Conector	Conexiones entre dos o más variables.

Fuente: elaboración propia

La simbología corresponde a la utilizada para la representación de las diversas variables necesarias para los modelos de los cuatro eslabones de la cadena del suministro del cerdo, realizados en el software Stella Professional®.

**E. Evaluación de escenarios**

Se evaluaron distintos escenarios cuantitativos haciendo uso del modelo de simulación dinámica construido en Stella Professional®, estos se realizaron mediante un análisis de sensibilidad de los factores considerados como clave para los distintos eslabones en la cadena de suministro. Los escenarios pesimistas y optimistas se elaboraron en base al escenario actual en donde se modificaron parámetros para lograr observar distintos escenarios. En la Tabla 13, se pueden observar los resultados de los distintos factores para cada uno de los escenarios del eslabón de abastecimiento y producción.

Los resultados para el escenario actual y los escenarios planteados como optimistas y pesimistas. Para los escenarios optimistas se manejan los porcentajes del

90, 110 y 120, y para los pesimistas se utilizaron los porcentajes de 50, 60 y 70. Dichos resultados son con relación a las recepciones de cerdos, producción de carne, la cantidad de desperdicios y el monto económico asociado a las ventas y desperdicios.

TABLA 2. COMPARATIVA PARA LA VALIDACIÓN DE ESCENARIOS EN LOS ESLABONES DE ABASTECIMIENTO Y PRODUCCIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO DEL CERDO

RESULTADOS	ESCENARIO ACTUAL (DEMANDA 100%)	ESCENARIO PESIMISTA 1 (DEMANDA 50%)	ESCENARIO PESIMISTA 2 (DEMANDA 60%)	ESCENARIO PESIMISTA 3 (DEMANDA 70%)	ESCENARIO OPTIMISTA 1 (DEMANDA 90%)	ESCENARIO OPTIMISTA 2 (DEMANDA 110%)	ESCENARIO OPTIMISTA 3 (DEMANDA 120%)
RECEPCIONES DE CERDOS	800	400	500	600	750	900	1000
CANTIDAD DE KG DE PRODUCTO FRESCO	10900	5400	6800	8200	10200	12300	13599.99999
CANTIDAD DE KG DE PRODUCTO CONGELADO	25619.99982	12600	15060	19110	23940	28770	31920
DESPERDICIO DE CERDOS	77.5	38.66	48.37	58.08	72.69	87.21	96.92999800
DESPERDICIO DE KG DE CARNE	7935.234632	3926.471505	4932.330728	5917.189951	7413.555	8908.063825	9917.263551
MONTO ECONOMICO EN DESPERDICIOS	\$ 59,147,1200	\$ 278,144,4900	\$ 348,882,3400	\$ 417,786,8400	\$ 523,737,5000	\$ 629,422,4700	\$ 708,344,0000
MONTO ECONOMICO EN VENTAS	\$ 1,633,350,0000	\$ 810,000,0000	\$ 1,024,200,0000	\$ 1,228,950,0000	\$ 1,536,300,0000	\$ 1,848,150,0000	\$ 2,048,400,0000
MONTO ECONOMICO TOTAL (SI NO EXISTIERAN DESPERDICIOS)	\$ 2,392,297,1200	\$ 1,088,144,4900	\$ 1,373,082,3400	\$ 1,646,736,8400	\$ 2,060,037,5000	\$ 2,477,572,4700	\$ 2,748,744,0000
PORCENTAJE DE DESPERDICIOS	25.47%	25.56%	25.43%	25.37%	25.42%	25.60%	25.48%

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 3, se muestra el análisis realizado para conocer el comportamiento de la variable de salida, que en este caso son: la cantidad de ingresos por tarimas distribuidas, la variación de la cantidad de producto terminado en almacén listo para pasar por el proceso de distribución al mercado nacional e internacional, y para esto se consideran diferentes tipos de escenarios.

TABLA 3. COMPARATIVA PARA LA VALIDACIÓN DE ESCENARIOS DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL CERDO

ESLABON DE DISTRIBUCIÓN					
Escenario	Kg en Almacén	Tarimas Distribuidas	Ingresos		Diferencia (Actual - Optimista o Pesimista)
			N (\$785.00)	I (\$850.00)	
Nacional	Actual	135,600 kg	120 unidades	\$94,200.00	---
	Pesimista (90%)	122,040 kg	120 unidades	\$94,200.00	\$0.00
	Pesimista (80%)	108,480 kg	95 unidades	\$74,575.00	\$19,625.00
	Pesimista (50%)	67,800 kg	47 unidades	\$36,895.00	\$57,305.00
	Optimista (110%)	149,160 kg	144 unidades	\$113,040.00	-\$18,840.00
	Optimista (120%)	162,720 kg	168 unidades	\$131,880.00	-\$37,680.00
	Optimista (150%)	203,400 kg	192 unidades	\$150,720.00	-\$56,520.00
Internacional	Actual	320,400 kg	311 unidades	\$264,350.00	---
	Pesimista (90%)	288,360 kg	287 unidades	\$243,950.00	\$20,400.00
	Pesimista (80%)	256,320 kg	263 unidades	\$223,550.00	\$40,800.00
	Pesimista (50%)	160,200 kg	144 unidades	\$122,400.00	\$141,950.00
	Optimista (110%)	352,440 kg	359 unidades	\$305,150.00	-\$40,800.00
	Optimista (120%)	384,480 kg	383 unidades	\$325,550.00	-\$61,200.00
	Optimista (150%)	480,600 kg	479 unidades	\$407,150.00	-\$142,800.00

Fuente: elaboración propia

Se presentan dos escenarios de comercialización, el mercado nacional y el mercado internacional para exportación, en ambos casos se manejan los mismos porcentajes con base a la demanda, y para ellos se

manejan porcentajes de 90, 80 y 50 para el escenario pesimista y de 110, 120 y 150 para el optimista. Se muestra que en ambos casos la diferencia entre el escenario actual y el pesimista u optimista muestran un comportamiento esperado con repercusiones negativas (escenario pesimista) y positivas (escenario optimista) de acuerdo al porcentaje asignado.

En la Tabla 4, se puede observar la comparación de los resultados o ganancias de cada una de las propuestas de logística inversa.

**TABLA 4. . COMPARATIVA PARA LA VALIDACIÓN DE ESCENARIOS DEL PROCESO DE LOGÍSTICA INVERSA DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL CERDO**

ESLABÓN DE LOGÍSTICA INVERSA							
Escenario	Tarimas	Empaques	Alimento (kg)	Embutidos	Costo de decomiso	Ganancia (\$)	Diferencia (Actual - Optimista o Pesimista)
Actual	13,000 pesos	342 pesos	14,800 pesos	360,000 pesos	162,000 pesos	226,000 pesos	---
Pesimista (90%)	10,500 pesos	308 pesos	13,300 pesos	324,000 pesos	145,000 pesos	203,000 pesos	23,000 pesos
Pesimista (80%)	9,860 pesos	274 pesos	11,800 pesos	288,000 pesos	129,000 pesos	181,000 pesos	45,000 pesos
Pesimista (50%)	5,480 pesos	171 pesos	7,400 pesos	180,000 pesos	80,800 pesos	112,000 pesos	114,000 pesos
Optimista (110%)	15,800 pesos	377 pesos	16,300 pesos	396,000 pesos	178,000 pesos	251,000 pesos	-25,000 pesos
Optimista (120%)	16,400 pesos	411 pesos	17,800 pesos	432,000 pesos	194,000 pesos	273,000 pesos	-47,000 pesos
Optimista (150%)	18,500 pesos	514 pesos	22,200 pesos	540,000 pesos	242,000 pesos	339,000 pesos	-113,000 pesos

Fuente: elaboración propia

La comparación de los escenarios pesimistas y optimistas contra el actual para el eslabón de logística inversa de la empresa bajo estudio. En ésta se consideraron las ganancias o costos que generan cada una de las propuestas, y se manejan porcentajes de 90, 80 y 50 para el escenario pesimista y 110, 120 y 150 para el escenario optimista, para posteriormente evaluar la diferencia en términos monetarios, de esta forma es posible apreciar el comportamiento en cada escenario.

La respuesta de los escenarios es la esperada, ya que en los pesimistas se generaron pérdidas en las ganancias mientras que en los optimistas hubo incrementos de la misma, de modo que se calculó la diferencia entre los escenarios para observar el impacto de cada uno de acuerdo al porcentaje asignado.

**F. Validación del modelo**

En este apartado se realizó la valoración del modelo mediante una prueba de extremos y una de consistencia de unidades. En la Figura 13 se puede apreciar el modelo para los eslabones de abastecimiento y producción bajo

una prueba de extremos.

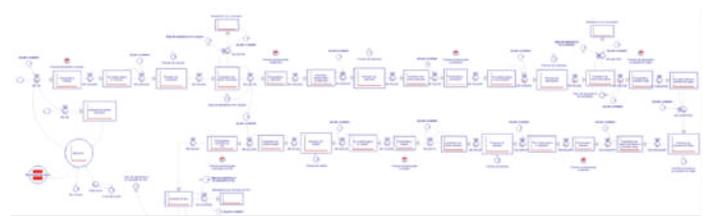


Figura 13. Prueba de extremos para el modelo del eslabón de abastecimiento y producción de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

Para la prueba de extremos se identificó la variable crítica para cada uno de los eslabones del modelo, siendo estos las recepciones de insumos o materia prima. Una vez identificada esta variable se le dio un valor o demanda de 0, por lo que en el resto del modelo no hubo flujo de estos insumos o materia prima.

La prueba de validación de extremos para el modelo del eslabón de distribución consistió en la utilización de un valor extremo (en este caso 0) en donde a través de las ecuaciones auxiliares se midieron los niveles establecidos en el modelo, posteriormente se buscó que los valores reflejados mostraran la validez del modelo, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Prueba de extremos para el modelo del eslabón de distribución de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia

Se seleccionó una parte del modelo en la que se aprecia que no hay movimiento en las gráficas. El modelo cumplió con los requisitos de la prueba de extremos, pues al darle un valor de 0 a los parámetros o entradas se obtiene como resultado 0 en todos los elementos, de modo que se ve reflejada su validez.

La prueba de validación de extremos para el modelo del eslabón de logística inversa del cerdo de la empresa bajo estudio, tiene como objetivo dar validez al modelo y permite ver que no hay flujo de insumos

en el mismo. Esta prueba se genera al aplicar un valor de cero a los parámetros deseados y poniendo en marcha la simulación, de modo que debe comprobarse que no muestre gráficas de comportamiento pues, como es de esperarse, al no tener una entrada no debe haber una salida, como se muestra en la Figura 15.

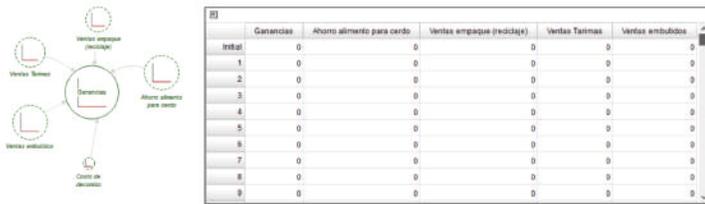


Figura 15. Prueba de extremos para el modelo del eslabón de distribución de la cadena de suministro del cerdo. Fuente: elaboración propia.

Se tomó el fragmento final del modelo y se determinó que es válido pues según la prueba de extremos este no muestra ninguna gráfica de comportamiento al darle el valor de 0 a sus parámetros, esto repercute en las salidas, generando una tabla y gráficos planos al ser 0 sus únicos valores.

En lo que respecta a la prueba de consistencia de unidades se cuidó a lo largo del modelo que las unidades fueran consistentes en los inventarios, flujos y parámetros establecidos. Se implementaron conversores para las unidades y un parámetro de ajuste de unidades cuando fue necesario.

### G. Interfaz dinámica

La elaboración de la interfaz dinámica permite al usuario observar el comportamiento de los distintos escenarios planteados mediante la modificación de distintos valores. Esta interfaz cuenta con ayudas visuales las cuales permiten al usuario navegar y manipular la misma sin necesidad de ser experto en el tema.

Se construyeron dos interfaces dinámicas, una considerando los eslabones de abastecimiento y producción y otra la cual consideraba los eslabones de distribución y logística inversa para la cadena de suministro del cerdo.

A continuación, en la Figura 16, se puede observar una pantalla de la interfaz dinámica elaborada para el

eslabón de abastecimiento y producción en la cadena de suministro del cerdo.

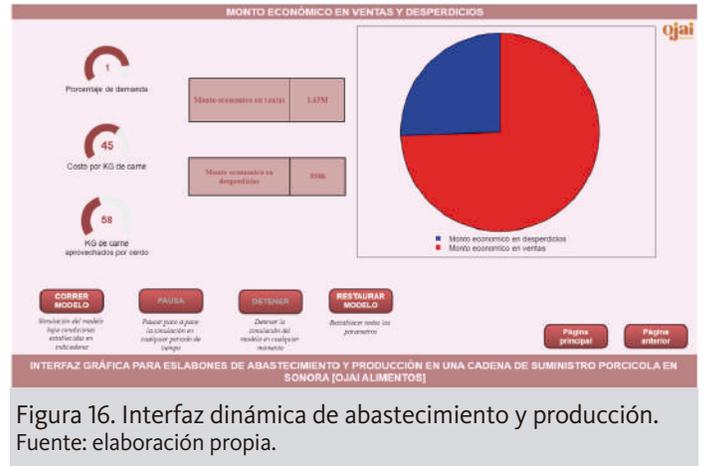


Figura 16. Interfaz dinámica de abastecimiento y producción. Fuente: elaboración propia.

La pantalla del monto económico para ventas y desperdicios en los eslabones de abastecimiento y producción de cerdos, así como también algunos parámetros modificables que permiten observar el comportamiento del efectivo en distintas situaciones. A la pantalla se le agregan ayudas visuales en forma de gráfica que permiten al usuario analizar la información y tomar decisiones en base a estas.

Se cuentan con botones para la navegación dentro de la interfaz dinámica los cuales permiten moverse entre páginas, detener, pausar, correr y restaurar el modelo en cualquier intervalo de tiempo.

De igual manera se realizó la interfaz gráfica correspondiente al eslabón de distribución en la cadena de suministro del cerdo. En la Figura 17 se muestra dicha representación.



Figura 17. Interfaz dinámica de distribución. Fuente: elaboración propia.

En la pantalla se puede observar una gráfica representativa de la variable bajo estudio, además de los botones para correr, pausar, detener y reestablecer el modelo; además, los botones para editar los datos de entrada con el fin de conocer el comportamiento de la variable cuando se alteran dichos datos.

Por último, en la Figura 18, se muestra la interfaz gráfica del eslabón de logística inversa, en donde se representan ciertas variables de interés para el análisis del comportamiento del proceso.

Mediante la interfaz elaborada en el proyecto se apoya a la organización en el proceso de toma de decisiones administrativas debido a que el usuario de esta podrá manipular variables críticas y observar el comportamiento de distintos apartados como lo son los desperdicios y la rentabilidad. Es necesario que la organización comience a implementar estrategias para trabajar en la reducción de los desperdicios en las distintas áreas de los eslabones de la cadena de suministro, esto tendría un impacto significativo en los objetivos estratégicos y la rentabilidad de la empresa.

Se recomienda seguir trabajando y calibrando el modelo respecto a información recopilada en distintas ventanas de tiempo, esto con la finalidad de lograr que el modelo se asemeje cada vez más a la realidad y se logren entregar resultados con una menor variabilidad respecto al proceso real. En lo que respecta a la interfaz dinámica se plantea seguir desarrollando la misma y capacitar a una persona la cual se puede especializar en la manipulación de variables de esta para la evaluación de distintos escenarios.



Figura 18. Interfaz dinámica de logística inversa. Fuente: elaboración propia.

La representación gráfica de los procesos de retorno y ventas de tarimas y de empaques. Se cuenta con botones que permiten modificar los parámetros y correr el modelo; además de gráficas e indicadores del comportamiento de las variables.

## V. APORTACIONES Y CONCLUSIONES

El proyecto realizado permitió aplicar algunas de las etapas de la metodología (dinámica de sistemas) en el estudio y desarrollo de modelos afines a los procesos de la empresa bajo estudio; es de suma importancia realizar investigaciones previas a la ejecución de nuevos proyectos, para tener como base los conocimientos de profesionales que han hecho uso la metodología para la elaboración de modelos de simulación de sistemas dinámicos, y obtenido resultados favorables en la mejora de procesos vinculados a la cadena de suministro de las organizaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores, A.K.P.A., K.L.C.A., P.J.G.D., A.L.L.L., A.A.P.D., C.G.R.A., F.X.S.S., S.I.V.C. Agradecen la coordinación del proyecto a cargo del Dr. E.A.Lagarda-Leyva y al Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística por su apoyo. Especial agradecimiento a la empresa que proporcione la información de su cadena de suministro O.A., a la empresa de Software ISEE Systems por el patrocinio de la Licencia Stella Professional® de forma gratuita para poder llevar a cabo el proyecto durante el año 2021 en época de pandemia, de igual forma, agradecen el apoyo recibido a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) a través del programa de "Laboratorios Nacionales". Asimismo se agradecen el financiamiento otorgado por parte del ITSON a través del Fondo PROFAPI 2021.

## REFERENCIAS

- [1]. Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- [2]. Camacho, H., Gómez, K. L., & Monroy, C. A. (2012). Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones. In *Tenth Laccei Lat. Am. Caribb. Conf.(Laccei'2012)*.
- [3]. Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración De La Cadena De Suministro* (5.a ed.). México, México: Pearson Educación.
- [4]. Planella-Villagra, I. (1983). *Agroindustria y Desarrollo Económico*. Bogotá, Colombia: IICA.
- [5]. García, M. J. (2020). *Errores frecuentes en Dinámica de Sistemas: Guía para construir modelos de simulación, diagramas causales, diagramas de flujos (Diagramas de . . . sin faltas, dudas, dificultades ni problemas: 2019*. España: Independently Published.
- [6]. De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. (2020). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Buenos Aires, Argentina: UCEMA
- [7]. Sterman, J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*; McGraw Hill: New York, NY, USA, 2000. [Google Scholar]
- [8]. Bujanda Clark, A. *Evaluación del Desempeño de la Cadena de Suministro en Una Microempresa de Envases de Plástico*; ITSON: Obregón, Sonora, Mexico, 2016. [Google Scholar]
- [9]. Forrester, J.W. *System Dynamics as a Foundation for Pre- College Education (D-4133)*; Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA, 1990; p. 14. [Google Scholar]
- [10]. Chermack, T.J. *Scenario Planning as a Development and Change*. Available online: [http://www.thomaschermack.com/Thomas\\_Chermack\\_-\\_Scenario\\_Planning/Research\\_files/Chermack\(2006\)SPasDeveandChange.pdf](http://www.thomaschermack.com/Thomas_Chermack_-_Scenario_Planning/Research_files/Chermack(2006)SPasDeveandChange.pdf) (accessed on 24 March 2020).
- [11]. Richardson, G.; Pugh, A., III. *Introduction to System Dynamics Modeling with Dynamo*. *J. Oper. Res. Soc.* 1997, 48, 1146. [Google Scholar] [CrossRef]
- [12]. Martínez, S.; Requema, A. *Simulación Dinámica por Ordenador*; Alianza: Madrid, Spain, 1988. [Google Scholar]
- [13]. Luna, L. *El Diseño de interfaz gráfica de usuario para publicaciones digitales*. *Rev. Digit. Univ. UNAM* 2004, 5, 2–8. [Google Scholar]
- [14]. Rodríguez, R. *Visualización del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje, Apoyado en una Interfaz Gráfica*; Universidad Autónoma Metropolitana: Mexico City, Mexico, 2014. [Google Scholar]
- [15]. Lagarda-Leyva, Ernesto A.; Bueno-Solano, Alfredo; Vea-Valdez, Harvey P.; Machado, Daniel O. 2020. "Dynamic Model and Graphical User Interface: A Solution for the Distribution Process of Regional Products" *Appl. Sci.* 10, no. 13: 4481. <https://doi.org/10.3390/app10134481>

## **“ANÁLISIS LOGÍSTICO: UN ENFOQUE INTEGRAL”**

Se terminó de editar en versión digital en Ciudad Obregón, Sonora;

el 30 de septiembre de 2021

por la Oficina de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Sonora.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio

[www.itson.mx](http://www.itson.mx) en la sección de Publicaciones.



**MéxicoLogístico**®

Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro, A.C.

**ITSON**  
UNIVERSIDAD

