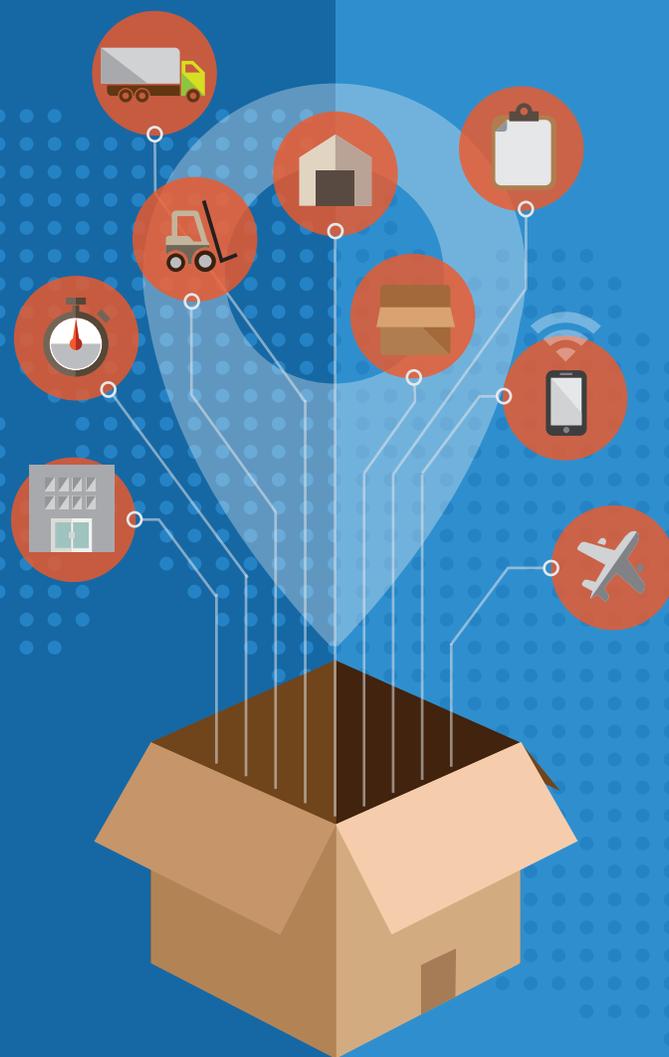


# Regionalización logística

## ANÁLISIS Y APLICACIONES

Ernesto Alonso Lagarda Leyva  
Miguel Gastón Cedillo Campos  
Luis Fernando Niño Luna  
**EDITORES**



La presente publicación ha sido dictaminada  
bajo un proceso doble ciego  
por pares académicos de universidades  
nacionales e internacionales

Asociación Mexicana de Logística &  
Cadena de Suministro, A.C.  
[aml.org.mx](http://aml.org.mx)

Instituto Tecnológico de Sonora  
[www.itson.mx](http://www.itson.mx)

#### **EDITORES**

Ernesto Alonso Lagarda Leyva  
Miguel Gastón Cedillo Campos  
Luis Fernando Niño Luna

#### **DISEÑO EDITORIAL**

GERARDO FRANCISCO ESQUER MAES

**ISBN** 978-607-609-224-8

#### **PRIMERA EDICIÓN**

Julio de 2022  
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

**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

**Janía SAUCEDO**

Universidad Autónoma de Nuevo León

**Jons SÁNCHEZ**

Universidad Autónoma de Querétaro

**Benito SÁNCHEZ LARA**

Universidad Nacional Autónoma de México

**Tomas Eloy SALAIS 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

i

---

<b>Análisis de la capacidad del sistema de producción para un dispositivo de monitoreo de ritmo cardiaco utilizando simulación basada en agentes inteligentes.</b>	<b>02</b>
Alpha Daniela Ortiz Osorio, David Feria Aquino, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre, Constantino Gerardo Moras Sánchez, Magno Angel Gonzalez Huerta, Carlos Edu Argülles Téllez	
<b>Evaluación del impacto de los parámetros importantes del proceso de beneficiado húmedo del café en el consumo de materias primas y energía bajo el enfoque de agentes inteligentes</b>	<b>12</b>
Fabián Cessa Valdés, Luis Daniel Uscanga Mañón, Constantino Gerardo Moras Sánchez, Magno Ángel González Huerta, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre	
<b>Implementación de LEAN-KAIZEN para el análisis de fallas en la producción de persianas de aluminio: un caso de estudio.</b>	<b>21</b>
Juan Carlos Torres, Iván Garza Greaves, Ricardo Daniel López García, Pedro Henoc Ireta Sánche, Araceli Maldonado Reyes.	
<b>Efecto de las condiciones del camino en los costos de transporte en tiendas rurales.</b>	<b>33</b>
Agustín Bustos Rosales, José Alfonso Balbuena Cruz, Alma Rosa Zamora Dominguez.	
<b>Capacidad de absorcion tecnológica del capital trabajo en las pequeñas y medianas empresas de autopartes plásticas en el Estado de México</b>	<b>41</b>
Anabel Martínez Guzmán, Verónica Velázquez Romero, Rebeca Díaz Téllez.	
<b>Método de desarrollo de una APP de control de inventarios</b>	<b>49</b>
Claudia Tinajero Ramírez, Sandra Téllez Vázquez, Diego Fernández-Soto.	
<b>Artificial Intelligence through simulation: an approach from Smart Manufacturing in the assembly of automotive components</b>	<b>62</b>
Humberto García Castellanos, Frida Julieta Gallegos Méndez, Carlos Alberto Ochoa Zazzatti, Adrián Francisco Loera Castro.	
<b>Estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el Puerto de Veracruz</b>	<b>69</b>
Jared Piña Barcenas, Carlos Daniel Martner Peyrelongue.	
<b>Modelo de costos de sistemas de logística inversa. Estudio de caso</b>	<b>78</b>
Erick Álvarez Alfaro, Juan José Méndez Palacios.	
<b>Desarrollo inicial de sistema ciberfísico para la estimación de desperdicio de alimentos en servicios restauraneros</b>	
Reducción de desperdicio de alimentos con un enfoque de Logística 4.0	
Marco A. Miranda-Ackerman, Karina C. Arredondo-Soto	<b>88</b>

<b>La sustentabilidad en las cadenas de suministro: percepción del sector productivo del sur de Sinaloa</b>	
María Guadalupe Velarde Rodríguez, Jesús Pascual Matías López.	95
<b>Disminución de la merma en materia prima en empresa de cítricos mediante el procesamiento de lotes con tamaños de trabajo no idénticos</b>	
José Manuel Chavira Cervantes, Pedro Henoc Ireta Sánchez, Iván Garza Greaves, Ricardo Martínez López.	107
<b>Modelo tecnológico para monitorizar el flujo vehicular y bahías de carga/descarga en zonas urbanas</b>	
Arquitectura IoT con flujo de datos de bajo consumo	
Bernardo Hernández Sánchez, Miguel Gastón Cedillo Campos, Marisol Barrón Bastida.	114
<b>Desarrollo sustentable de las operaciones de transporte de RSU valorizables en áreas urbanas</b>	
Un análisis geoespacial en Nezahualcóyotl, México	
Javier Gómez Maturano, Benito Sánchez Lara, Ana Karen Tenorio Hernández	123
<b>Caracterización de la cadena de suministro inversa de residuos metálicos: el caso de una empresa eslabón que los valoriza</b>	
Valorisation of metal waste in reverse supply chains: characterization of logistics operations	
Javier Gómez Maturano, Benito Sánchez Lara, Ana Karen Tenorio Hernández	132
<b>Valorización del vidrio en cadenas de suministro inversas y modelos de negocio circulares potenciales</b>	
Valorisation of Glass Waste in Reverse Supply Chains and Potential Circular Business Models	
Paola J. De Luna-Carriche, Benito Sánchez-Lara, Edgar Perrusquía-Castro	141
<b>La sobrevivencia de los nanostores ¿cómo lo logran?: estudio empírico con evidencia del municipio de Nezahualcoyótl</b>	
The survival of nanostores, how do they achieve it?: a empirical study	
Edgar Perrusquía-Castro, Benito Sánchez-Lara	148
<b>Repensando la estrategia de distribución: integración del último eslabón de la cadena de suministros y el enfoque de Logística Urbana</b>	
Rethinking distribution strategy: integrating the last stage of the supply chain and the Urban Logistics approach	
Raul Soto-Peredo, Benito Sánchez-Lara	157
<b>Green Logistics to improve a novel vehicle routing problem in Citrus Industry Case study in the area of Martínez de la Torre, Veracruz</b>	
Hugo Alberto Bravo Quintero, Carlos Alberto Ochoa Ortiz, Isidro Rodríguez Montoro, Carlos Yossio Nakase Rodríguez	166
<b>Modelo de preselección de los aspirantes de la policía en México, por medio de la evaluación de control de confianza en línea</b>	
Luis Manuel Salazar García, Iván Garza Greaves, Pedro Henoc Ireta Sánchez, María Magdalena Reyes Gallegos y Jesús Carlos Carmona Frausto	174

# Prólogo

Vivo en una de las regiones logísticas más dinámicas del mundo, el Puerto de Laredo. Se trata del puerto terrestre más importante de la frontera entre México y los Estados Unidos. Cada año, cerca de 4.5 millones de camiones, que representan más de 200 mil millones de dólares en comercio, son desaduanizados de manera eficiente a través de este cruce fronterizo localizado en la frontera entre los estados de Tamaulipas y Texas. Muchas empresas de nuestra región participan directamente en cadenas de suministro globales y recientemente se han visto afectadas por las distintas interrupciones a los flujos que han surgido desde una gran variedad de fuentes, entre ellas, el clima, las demoras en los puertos, la escasez de materiales y de componentes como los microchips, entre otros. Estos problemas, a la luz de los avances tecnológicos y los cambios en las políticas de comercio exterior, han empujado a las empresas globales a reflexionar y reevaluar sus ventajas competitivas.

Es así que la "regionalización industrial" y por ende de la logística, se prevé como una nueva etapa de la globalización. Las interrupciones generadas por la naturaleza o el ser humano, las preocupaciones ambientales y la búsqueda de la efectividad financiera, han demostrado hasta qué punto los pequeños fabricantes locales son actualmente críticos para las modernas cadenas de suministro. De hecho, surgen ventajas cruciales para la confiabilidad de las cadenas de suministro cuando se incluyen productores locales. Por ejemplo, se crean innovaciones científicas y tecnológicas adaptadas a las necesidades locales como base para generalizaciones con potencial de exportación a otras regiones. Además, las interacciones entre proveedores locales y globales permiten mejorar la política industrial y, potencialmente, se crean y comercializan nuevos productos y servicios. Sin embargo, para todo esto, el desarrollo de una fuerza laboral creativa debe consolidarse para sostener la dinámica del sistema regional. Esta perspectiva general está en el cimiento de la estrategia denominada "nearshoring" o "ally shoring".

Hoy las empresas, además de regionalizar su logística, tienen una alternativa para impulsar su competitividad y efectividad y son las llamadas LOGIS-TECHS. En mi opinión, este término representa el impacto que las tecnologías exponenciales tienen en la logística y se pueden identificar, por ejemplo, como aquellas que impulsan la fluidez en el transporte de mercancías o agilizan su despacho aduanero. En realidad, este concepto es muy amplio, ya que incluye tanto a la automatización, como a la digitalización de procesos logísticos. Por ejemplo, dispositivos como los robots o los vehículos autónomos, al automatizar tareas, eliminan el trabajo simple y repetitivo disperso a lo largo de los procesos logísticos, lo que sin duda tenderá a mejorar la

calidad del servicio. Igualmente, el análisis de grandes masas de datos (big data) y la inteligencia artificial permitirán a las empresas analizar de forma puntual las transacciones y envíos a sus clientes, pronosticar de manera precisa la demanda, ajustar espacios y el personal en sus almacenes para reducir los tiempos de respuesta y de los costos asociados. El computo en la nube, el internet de las cosas (IoT) y el aprendizaje automático ayudaran en la clasificación, valoración y cumplimiento de tarifas arancelarias. El blockchain tiene el potencial de generar confianza al permitir a las empresas y a las autoridades portuarias una visibilidad global del comercio en transito en tiempo real, vinculando el total de la información entre los manifiestos y las facturas. Cambios que nos permiten alcanzar la supervisión de los diferentes procesos dentro de las cadenas de suministro y el intercambio de datos entre múltiples organizaciones aduanales, empresas de servicio y usuarios finales.

El desarrollo tecnológico está transformando la cadena de suministro de principio a fin. Está cambiando la forma en que se producen, envían y despachan los bienes. Si se aprovecha esta oportunidad, las empresas de logística, los agentes aduanales, las empresas de transporte, las autoridades portuarias, y autoridades encargadas de gestionar infraestructura, se beneficiarán enormemente. Con frecuencia me preguntan: "¿Qué pasará con los empleados desplazados por la automatización?". Mis análisis son siempre sistémicos e involucran varios impactos, pero mi respuesta principal es que el proceso no será instantáneo. Por lo tanto, existe el tiempo para tomar las decisiones correctas. Sin embargo, eso no significa esperar a que el cambio nos alcance, todo aquel que se encuentren en el sector del transporte y la logística debe invertir decididamente en automatizar y digitalizar sus procesos, invertir en LOGISTECHS ya que con ello sentarán las bases de un futuro más efectivo y sostenible para su empresa y la sociedad.

La regionalización logística, aunado al uso de las LOGISTECHS es una oportunidad para las empresas, para los gobiernos y para la academia. Para las empresas representa la oportunidad de mejorar sus capacidades competitivas, elevar el nivel de servicio a sus clientes, así como incrementar la efectividad financiera, pero al mismo tiempo, para mantener operaciones con menor impacto ambiental y al generar empleos mejor calificados que redunden en mejores remuneraciones. Para los gobiernos, implica la oportunidad de mejorar la visibilidad y la administración de los flujos, redundando en un incremento del valor logístico de la infraestructura que construyen y gestionan. Elemento clave para mejorar la efectividad de sus acciones y con ello, el bienestar de la población. Para la academia representa la oportunidad de acompañar el cambio a través de apoyar la implementación de las LOGISTECHS tanto en las empresas, como en el sector público, pero, además, participar activamente en el gran desafío que representa la transformación de las competencias de lo más valioso que tiene un territorio, su recurso humano.

Sin duda es el tiempo de abrazar el avance tecnológico en logística como una oportunidad inigualable que nos toca enfrentar, es el tiempo de innovar, digitalizar, y automatizar, es el tiempo de progresar, es el tiempo de LOGIS-TECHS.

Dr. Daniel Covarrubias

Director

Texas Center for Border Economic and Enterprise Development

Texas A&M International University

dcova@tamiu.edu

Laredo, Texas

Agosto 2022

# **Análisis de la capacidad del sistema de producción para un dispositivo de monitoreo de ritmo cardiaco utilizando simulación basada en agentes inteligentes.**

Alpha Daniela Ortiz Osorio, David Feria Aquino,  
Alberto Alfonso Aguilar Lasserre,  
Constantino Gerardo Moras Sánchez,  
Magno Angel Gonzalez Huerta, Carlos Edu Argülles Téllez

# Análisis de la capacidad del sistema de producción para un dispositivo de monitoreo de ritmo cardiaco utilizando simulación basada en agentes inteligentes

Alpha Daniela Ortiz Osorio, David Feria Aquino, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre, Constantino Gerardo Moras Sánchez, Magno Angel Gonzalez Huerta, Carlos Edu Argülles Téllez

Departamento de Estudios de Posgrado e investigación  
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, TecNM  
Orizaba, México

alphadaniela23@gmail.com feriadavid96@gmail.com, ceatl395@gmail.com, albertoaal@hotmail.com, t\_moras@yahoo.com.mx, mgonzalezh@orizaba.tecnm.mx

**Resumen:** Las enfermedades no transmisibles (ENT) son la causa del 71% de los decesos mundiales anualmente, dentro de las cuales, las cardiovasculares son las que cuentan con mayor prevalencia representando 17.9 millones de muertes. De manera más específica, refiriéndose a México, estas enfermedades constituyen el 19% de fallecimientos al año en personas adultas y se estima que el 70.3% de dicha población vive con al menos un factor de riesgo cardiovascular, por lo tanto, un gran número de organizaciones enfocan sus esfuerzos en desarrollar productos y/o servicios que contribuyan al monitoreo de las condiciones bajo las que se mantiene un cardiópata a fin de detectar anomalías o irregularidades y prevenir infartos y complicaciones posteriores. Este artículo se centra en realizar un análisis para conocer la capacidad de producción de una empresa de esta índole, específicamente, en el desarrollo de sus dispositivos de monitoreo cardiaco. Para este fin, en el presente trabajo de investigación, se muestra una solución práctica, basada en el uso de: i) simulación de eventos discretos para representar la red de actividades y los tiempos correspondientes en cada proceso; ii) simulación basada en agentes mediante la lógica programada en cuatro agentes inteligentes encargados de monitorear las llegadas de cada materia prima y realizar los pedidos de la misma cuando sea requerido en el proceso iii) dinámica de sistemas enfocada en la activación de las relaciones causales en las que radica el funcionamiento de los agentes inteligentes. Cabe resaltar que los resultados obtenidos fueron satisfactorios obteniendo que la planta estaba preparada para suplir la demanda estipulada de 400 dispositivos siempre y cuando se cuente con la materia prima necesaria para continuar con la producción. La importancia del modelo radica en que permite ejercer la planeación sobre los tiempos en los que se deben efectuar los pedidos, siendo esto de extrema ayuda a la empresa dado que no cuenta con un espacio establecido para almacenaje de estos nuevos componentes.

**Palabras Clave:** Simulación de eventos discretos, Agentes inteligentes, Dinámica de sistemas, Enfermedades cardiovasculares, Dispositivos de monitoreo cardiaco.

## I. INTRODUCCION

Las enfermedades crónicas o enfermedades no transmisibles (ENT's) son las responsables de la muerte de 41 millones de

personas cada año, lo que equivale al 71% de los fallecimientos que se producen en el mundo. Las enfermedades crónicas más prevalentes a nivel mundial son las cardiovasculares [1]. Específicamente, en México, se tuvieron 156,041 defunciones causadas por enfermedades del corazón, mismas que han ocupado el primer lugar en muertes en el país durante varios años, entre ellas, destacan las enfermedades isquémicas del corazón [2].

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son un grupo de desórdenes del corazón y de los vasos sanguíneos entre las que se consideran la enfermedad coronaria, enfermedad cerebrovascular, hipertensión, enfermedad arterial periférica, cardiopatía reumática o insuficiencia cardíaca, entre otras. Cada año mueren más personas por alguna de estas enfermedades que por cualquier otra causa, además, afectan en mucha mayor medida a los países de ingresos bajos y medios. De aquí a 2030, casi 23,6 millones de personas morirán por alguna enfermedad cardiovascular, principalmente por cardiopatías y accidentes cerebrovasculares. Se prevé que estas enfermedades sigan siendo la principal causa de muerte [1]. En México, el 19% de mujeres y hombres de 30 a 69 años muere de enfermedades cardiovasculares, y se estima que el 70.3% de la población adulta vive con al menos un factor de riesgo cardiovascular [3].

Por consiguiente, toma relevancia llevar a cabo diagnósticos y monitoreos en las personas que muestren signos de alguna ECV, para evaluar los riesgos a los que se enfrentan o mantener un control del avance de ésta. Además de los análisis de sangre y una radiografía de tórax, las pruebas para diagnosticar una enfermedad cardíaca pueden comprender lo siguiente: Electrocardiograma, ecocardiograma, prueba de esfuerzo, cateterismo cardiaco, tomografía computarizada del corazón, resonancia magnética del corazón y dispositivos portátiles de monitoreo [4]. Partiendo de esta situación, en este artículo se realiza un análisis de la capacidad de un sistema de producción de dispositivos de monitoreo no invasivos para cardiopatas, utilizando la simulación basada en agentes

inteligentes, con la cual se podrá conocer si la capacidad con la que cuenta el sistema actualmente es la suficiente para lograr la meta de demanda que la empresa se ha planteado, es decir, 400 dispositivos o, en su caso, saber el nivel de producción que se alcanzaría bajo las condiciones actuales. La simulación basada en agentes sirve para comprender cómo el comportamiento de un agente, en este caso encargados de realizar los pedidos de las piezas con las que se ensambla el dispositivo de acuerdo con el ambiente en el que se producen, repercute en todo el sistema y en las salidas del mismo.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Conocer la capacidad de producción de un sistema, propicia que exista una correcta planificación tanto de las actividades como de las materias primas que son necesarias para la elaboración de cualquier producto o servicio. De acuerdo con [5] una de las formas en las que una organización puede tener éxito en sus labores es la de conocer realmente cuál es su capacidad para cubrir las demandas del mercado, las cuales pueden alcanzar las expectativas de la organización de poder cubrir con los pedidos que se realizan, o en alguno de los casos pueden superar estos niveles de cumplimiento. Por su parte [6] hace contrastar que, una capacidad insuficiente puede hacer perder clientes por lentitud de servicio, ofreciendo un flanco débil a los competidores, mientras que una capacidad excesiva puede reducir ganancias, al tener costos excesivos, subutilización de mano de obra o inventarios elevados.

Luego entonces, partiendo de estas afirmaciones se puede mencionar que conocer la capacidad de producción con la que cuenta una organización, es de vital importancia, pues define sus límites competitivos. Además, según [7], a cada organización se le debe suministrar la capacidad necesaria para satisfacer la demanda actual y futura ya que, de otra manera, se perderían oportunidades de crecimiento y de ganar beneficios.

Considerando la importancia que conlleva el conocimiento de la capacidad de un sistema productivo, [8] realiza un análisis de control y capacidad con ayuda de herramientas estadísticas, con el fin de conocer la calidad del proceso en la elaboración de sobres de azúcar, por medio del cual se pudo afirmar que, dicho proceso, se encuentra controlado; sin embargo, el cálculo de los índices de capacidad indicó que hay oportunidad de mejora en éste.

[9] Proponen un modelo para determinar la capacidad de producción en montaje de las empresas manufactureras de calzado apoyándose en las técnicas para el estudio del trabajo. El análisis de 9 empresas indicó que el 11% de ellas tienen alta capacidad, el 78% aceptable y el 10% es baja, a partir de esta información se puede identificar qué empresas necesitan apoyo en la gestión de su capacidad.

[10], a su vez, desarrollan modelos matemáticos, considerando la incertidumbre de la demanda para determinar la capacidad

inicial que debe tener una planta para la producción de etanol, el tiempo al que debe realizarse la primera ampliación de la misma y la capacidad de ésta, lo cual permite, considerando otros criterios, adoptar decisiones acerca de cuál debe ser la capacidad de una planta de alcohol atendiendo a la disponibilidad actual y futura de la caña de azúcar.

Por su parte [11] analizan una línea ensambladora de ventanas con el propósito de aumentar la capacidad de producción basado en el despliegue de la facilidad para, así, mejorar el flujo. En el mismo se realizaron análisis de producto, de demanda, se identificaron las cadenas de valor, se calculó el tiempo estándar de las operaciones, el “takt time”, las máquinas necesarias, y un análisis de relación. Se logró reducir las distancias recorridas en el proceso en un 40% y aumentar la capacidad de producción por un 88.34%.

[12] Proponen un modelo de programación de la producción en el proceso de troquelado de calzado en el que el cálculo de la capacidad de producción define el cuello de botella que marca el ritmo de producción (tambor). El modelo de programación se basa en un sistema de producción Pull de Lean Manufacturing para sincronizar la manufactura del calzado con los procesos de armado y montaje de acuerdo con la filosofía Justo a Tiempo (en inglés JIT). Con células de manufactura se obtiene una mejora del 10% al 27% en la eficiencia de la capacidad productiva.

Ahora bien, a continuación, se presentan una serie de trabajos de investigación, basándose en modelos de simulación, para resolver problemáticas de este tipo.

[13] Establece un modelo de simulación Monte Carlo para las operaciones de una planta productora de lácteos de la Ciudad de México, dentro del intervalo de mayor actividad. Mediante este modelo de simulación se estimaron, en forma cuantitativa, los efectos o impactos esperados de cambios en la operación de la planta. De esta manera el modelo de simulación es una herramienta para evaluar el rendimiento de la actividad y la capacidad productiva de la planta bajo estudio, e incluso para evaluar mejoras potenciales en su operación, así como determinar la presencia de cuellos de botella.

[14] Diseñan un modelo de simulación, en el lenguaje C, del comportamiento de una empresa de manufactura a nivel de producción con el objetivo de generar una solución para uno de sus problemas más graves, que es, el desabasto del producto final para atender la demanda de los clientes. Con este modelo se identificaron los casos en donde es conveniente solicitar un cierto número de cajas para un tiempo específico, generando mejores resultados y más eficiencia por parte de la empresa, concluyendo, así, que la simulación es útil para optimizar el proceso de manufactura de la empresa.

[15] Aplican la simulación de eventos discretos, con el propósito de evaluar propuestas de mejora en la capacidad del proceso de producción a través la comparación de diversos

escenarios y observándose que, reprogramando la producción, se incrementaría la capacidad actual y se tendrían mejores resultados, aumentando la eficiencia, reduciendo el tiempo de espera y haciendo mejor uso de los recursos disponibles.

Del mismo modo ([16], utilizan Simulación de Eventos Discretos (apoyándose en el simulador SIMIO) para determinar las restricciones de capacidad de producción, es decir, identificar los cuellos de botella en el proceso de conminución de mineral de cobre sulfurado en una planta minera en Chile y visualizar cómo estas restricciones cambian bajo distintos escenarios de operación obteniéndose, como resultado, los equipos que forman el cuello de botella en el proceso y entendiendo su impacto dependiendo del escenario en el que se encuentren.

Desde otra perspectiva [17], realiza una metodología para el balance de la capacidad en una industria de productos lácteos basada en el estudio de los 18 pasos y 25 operaciones que tiene la planta, en donde localizando el cuello de botella (la recepción de la materia prima), propone coordinar la hora de entrega de leche, implementar las Buenas Prácticas y colaborar con otras industrias en el caso de un aumento de producción lechera que la industria no pueda procesar

Igualmente [18], a través de la simulación discreta con el software SIMIO, representan y modelan un sistema de producción de cárnicos, analizando los cuellos de botella, la utilización de recursos y la cantidad de producción realizada, encontrando que, la capacidad promedio utilizada de la planta de producción de los diferentes equipos de los procesos de picado, mezclado, elaborado, formado y empacado es de 92.39% y los porcentajes más bajos son del 80.65% y 82.74%.

[19] Realizan un modelo de simulación, mediante el software FlexSim 7.3.0, de un proceso minero compuesto por tolvas de almacenamiento y equipos de transporte, para conocer el número óptimo y la capacidad de los camiones y de las tolvas, llegando a la conclusión de que el sistema de carga está sobredimensionado respecto al transporte, por lo que para mejorar la productividad de la mina es necesario aumentar la flota de camiones o incrementar la capacidad de transporte de éstos.

Asimismo [20] ocupan simulación dinámica, en el software VensimPle, para conocer las características de un sistema de producción, en este caso, una línea ensambladora, en donde, entendiendo las restricciones y la capacidad con la que se cuenta demostró que, cuando el requerimiento del cliente sobrepasa la capacidad productiva, se generan órdenes pendientes; pero los niveles de inventarios y flujos productivos se mantienen estables.

Con lo antes mencionado, es posible entender el impacto que la capacidad de producción tiene en cualquier empresa de cualquier sector y cómo, conocer sus limitaciones y restricciones o cuellos de botella, permiten tomar decisiones y

cumplir con los requerimientos de los clientes. Para lograrlo, son usadas diversas técnicas relacionadas con la estadística y el estudio del trabajo e inclusive la simulación de dinámica de sistemas, simulación Monte Carlo y, en mayor proporción, la de eventos discretos.

Sin embargo, explica [21] que los algoritmos genéticos y los agentes inteligentes son las técnicas más investigadas para procesos de la cadena de suministros, especialmente aquellos relacionados con la planificación y, en menor medida, a procesos relacionados con la entrega de productos.

Retomando dicha información [22] aseguran que el carácter dinámico y abierto de los sistemas productivos, hace que la programación de la producción se convierta en una tarea compleja, en la cual la tecnología de los agentes inteligentes puede ser aplicada.

Apoyando esta idea, [23] afirman que en producción se necesitan resolver problemas de planificación altamente complejos, así como controlar procesos dinámicos, impredecibles e inestables. En la producción también existe la posibilidad de diagnóstico, reparación, reconfiguración y replanificación basados en agentes.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte a nivel mundial por ello, las personas que tienen padecimientos del corazón saben lo importante que es mantener controlada la frecuencia cardíaca en todo momento [24], en casos como estos los dispositivos electrónicos implican un gran beneficio. Tomando en consideración esto, es que muchas organizaciones centran sus esfuerzos en atender, eficientemente, la demanda en este sector.

Lograr este cometido es posible teniendo un conocimiento completo del proceso productivo que se ejecuta, es decir, entender qué elementos lo componen, qué factores intervienen y cómo se relacionan entre sí, pues, de esta manera se puede asegurar contar con la correcta cantidad de materia prima que se necesita, al mismo tiempo que se garantiza la sintonía entre la capacidad y la previsión de la demanda. Dicha situación resulta especialmente importante para las empresas de nueva creación o aquellas que se encuentran desarrollando productos nuevos.

Luego entonces, tomando como base estas aseveraciones, este artículo se enfoca en el caso de estudio de una empresa que se dedica a elaborar productos para cardiopatas. Ha desarrollado siete prototipos diferentes hasta llegar al dispositivo actual, el cual, es un servicio de monitoreo cardíaco no invasivo, diseñado para recolectar información del estado de un individuo, considerando su ritmo cardíaco.

La empresa se ha puesto como objetivo fabricar 400 dispositivos, en un lapso de tres semanas, no obstante, al ser un nuevo producto, se desconocen los niveles de producción

que puede lograr el proceso. De modo que, se desea realizar una evaluación de las condiciones actuales del sistema, apoyándose en un modelo de simulación basado en agentes inteligentes, mismo que reflejará la cantidad de unidades que realmente pueden procesarse, además de mostrar cómo las interacciones de los agentes, que son las piezas que llegan y necesitan ser ensambladas, tienen efecto en todo el proceso y, en consecuencia, en las salidas entregadas.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de producción de los dispositivos (Véase Figura 1) inicia con la solicitud de placas y componentes, en cuanto estos arriban en la empresa se organizan y se puede iniciar la manufactura de los parches inalámbricos. Primeramente, se hace la colocación y preparación de las bases, se posiciona la base guía y se sueldan los espacios (pads) en la placa, se debe asegurar el cubrimiento correcto de todos los pads, de no ser así se deben retirar las placas de las bases de sujeción, lo que elimina la soldadura, y se repite el proceso.

Posteriormente se coloca la placa en el microscopio para añadirle los componentes, y debe revisarse que se encuentren alineados adecuadamente. Seguido a esto, la placa se lleva a un horno para el cocimiento de todas las partes, una vez que esto fue hecho se limpia la placa y se retira del horno para realizarse una prueba de conductividad, que, en caso de no cumplirse, debe llevarse al microscopio para encontrar las fallas. A continuación, se sueldan los electrodos y los pines para poder hacer la programación del código de prueba, si este no funciona debe identificarse la falla y darle solución, pero si responde positivamente se hace la programación del código de trabajo. En seguida, se adhiere una carcasa a la placa y, finalmente, se coloca manualmente el parche sobre un empaque y se sella en una caja para así, almacenar el dispositivo terminado.

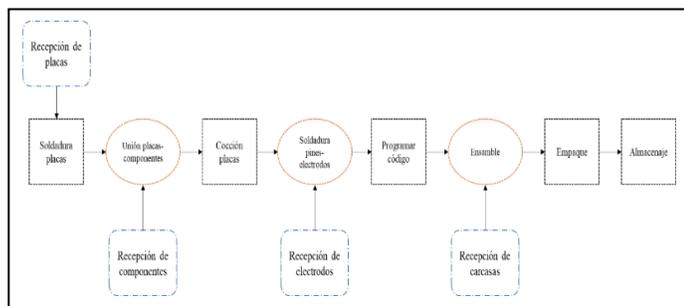


Fig. 1 Proceso de producción de los dispositivos

#### V. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo desarrollado pretende mostrar cómo se comporta el sistema de producción, pero también, identificar qué cantidad de pedidos ayuda a suplir la demanda de 400 dispositivos cada tres semanas, pues este es el tiempo en el que el producto debe cambiarse. Para conseguirlo, fue necesario alimentar el modelo de simulación con los tiempos entre llegadas, mismos que pueden observarse en la Tabla I y que se obtuvieron luego

de llevar a cabo una prueba de bondad de ajuste, con ayuda de un software estadístico, esta prueba se realizó a partir de las muestras que fueron tomadas durante 6 meses, dado que, al ser la materia prima de exportación, éstos son los más largos del proceso.

TABLA I TIEMPO ENTRE LLEGADAS (MINUTOS)

Placas	Componentes	Electrodos	Carcasas
Normal $\mu=8885$ , $\delta=1151$	Triangular $a=7200$ , $b=7200$ $c=10800$	Normal $\mu=8525$ , $\delta=1170$	Normal $\mu=8640$ , $\delta=1101$

De modo similar, se trabajó con los tiempos de producción, en el cual intervienen 7 procesos, como se explica en la sección de “*Descripción del proceso*”: Soldadura 1, Microscopio, Horno, Soldadura 2, Programación, Ensamble y Empaque. Se utilizó un software estadístico para conseguir las distribuciones correspondientes mediante la recolección de 50 muestras para cada proceso, cabe mencionar que tanto en el tiempo de procesos como en el tiempo entre llegadas en aquellos casos en los que no se arrojaba una distribución concreta el experto responsable recomendó utilizar una distribución triangular basándose en los datos muestreados. Esta información se encuentra en la Tabla II.

TABLA II TIEMPO DE LOS PROCESOS (MINUTOS)

Soldadura	Uniforme $a=16.1$ , $b=22$
Microscopio	Uniforme $a=75.3$ , $b=89.5$
Horno	Uniforme $a=11.3$ , $b=15$
Soldadura 2	Triangular $a=30.06$ , $b=32.39$ , $c=73.77$
Programación	Triangular $a=6.03$ , $b=7.7$ , $c=69.7$
Ensamble	Uniforme $a=10.1$ , $b=14.9$
Empaque	Normal $\mu=3.93$ , $\delta=0.537$

El modelo se plantea bajo la perspectiva de simulación de eventos discretos, puesto que se determinó que en el sistema las entidades fluyeran a través de una red de actividades y colas; sin embargo, también se consideran algunas bases de la visión de dinámica de sistemas ya que, se espera que el funcionamiento de dicho modelo responda a la sucesión de niveles interconectados por relaciones causales. Tomando en cuenta lo descrito, se identificaron aquellas partes, dentro del proceso (Véase Figura 1), en las que sería conveniente la intervención de la simulación basada en agentes inteligentes, dado que con este enfoque es viable englobar las formas de trabajo mencionadas porque consiente el manejo del tiempo en forma discreta y continua y admite, en su programación, la combinación de expresiones matemáticas, operadores lógicos y reglas de decisión.

Partiendo de esto, se decidió trabajar en el software AnyLogic® Personal Learning Edition multi-method

simulation platform mismo que permite visualizar los componentes que son parte del proceso y ajustarlos a las condiciones en las que realmente trabajan, pues dentro de las características de su biblioteca es posible utilizar agentes inteligentes, los parámetros que le dan dinamismo al sistema y las variables y estadísticas necesarias. Los elementos utilizados, quedan descritos en la Tabla III, Tabla IV y Tabla V

- Agent main (1)
- Agent type (5)
- Parameter (16)
- Variable (3)
- Delay (4)
- Assembler (3)
- Sink (1)
- Queue (10)
- Time Measure Start (5)
- Time Measure End (5)
- Events (8)
- Statistics (1)
- Histogram (1)
- Point node (10)
- 3D object (14)
- View Area (1)

Al probar inicialmente el modelo, se identificó, que cuando el número de entradas, era cercano a 100, cada vez que se hacía un pedido en el horizonte de simulación planeado (tres semanas), se llegaba a un total de productos terminados aproximado a la meta que se busca suplir, es decir, 400 dispositivos. Por lo tanto, se espera recibir dicho número de cada materia prima cada vez, tomando en cuenta los tiempos entre llegadas determinados para cada *Source*. De acuerdo con esto, se decidió usar cuatro agentes inteligentes, cuyo propósito es: i) representar las llegadas de una manera simplificada, debido a que cada llegada sigue un proceso similar, éste puede definirse a través de un solo agente, que lo convierte en un diagrama de flujo del proceso conciso; ii) mostrar cuántos pedidos se realizan a través del tiempo a partir de las especificaciones definidas para lograr el objetivo de producción. La figura 2, muestra el modelo conceptual de agentes para este modelo y en la Tabla VI se observa una descripción de dichos agentes.

TABLA III ACTIVIDADES DE LOS AGENTES

Para completar el trabajo que realizan los agentes se ocuparon *Dynamic Variables*, *Parameters* y *Events* pues, estos elementos brindarían dinamismo, lo cual se consideró una parte importante para que se le proveyera realismo al modelo y respondiera a las necesidades de la producción. En la interfaz del software se editaron los parámetros

correspondientes, utilizando los objetos antes mencionados, conectándose con la lógica oportuna y probando que se

Agente	Actividad
Llegada_placas	Realizar un pedido de 100 placas, en el momento conveniente, de acuerdo con el tiempo entre llegadas definido por una distribución normal. Realizar un conteo de los números de pedidos llevados a cabo en tres semanas de trabajo.
Llegada_componentes	Realizar un pedido de 100 componentes, en el momento conveniente, de acuerdo con el tiempo entre llegadas definido por una distribución triangular. Realizar un conteo de los números de pedidos llevados a cabo en tres semanas de trabajo.
Llegada_electrodos	Realizar un pedido de 100 electrodos, en el momento conveniente, de acuerdo con el tiempo entre llegadas definido por una distribución normal. Realizar un conteo de los números de pedidos llevados a cabo en tres semanas de trabajo.
Llegada_carcasas	Realizar un pedido de 100 carcasas, en el momento conveniente, de acuerdo con el tiempo entre llegadas definido por una distribución normal. Realizar un conteo, de los números de pedidos llevados a cabo en tres semanas de trabajo.

desempeñaran adecuadamente. A continuación, la Figura 3 y Figura 4 muestra un ejemplo de la programación que incluyó en el modelo, que sirvió para dar funcionamiento a los agentes (Véase Figura 5).

```

Action
if (dynamicVariable2==0){parameter10=0;}
if (dynamicVariable2<0){parameter10=100;}
if (dynamicVariable2>0){parameter10=0;}

```

Fig. 2 Lógica de programación para pedidos

```

Action
if (dynamicVariable2==0){parameter11=0;}
if (dynamicVariable2<0){parameter11=normal(1170,8525);}
if (dynamicVariable2>0){parameter11=0;}

```

Fig. 3 Lógica de programación para pedidos considerando tiempo entre llegadas

Name: llegada\_electrodos  Show name

Ignore

Single agent  Population of agents

electrodo, Agents per arrival: parameter10

electrodo, Interarrival time: parameter11 minutes

electrodo, Node: LlegadaElectrodos

electrodo, New agent: new proyecto2.MyAgent()

timeMeasureEnd3, On enter: parameter8=time();

Fig. 4 Lógica de programación del agente

Finalmente, se insertaron las variables con las que se daría seguimiento a los resultados del modelo y se trabajó en el diseño 3D, para que sea más sencillo para el usuario entender cómo ocurre el proceso.

## VI. METODOLOGÍA DESARROLLADA

**Paso 1 Formulación del problema.** A partir del conocimiento del sistema, se identifica el área de oportunidad y se establecen los objetivos a alcanzar con ayuda del modelo.

**Paso 2 Recolección de datos y definición del problema.** Se toman muestras de los tiempos de cada proceso, con ayuda de datos históricos proporcionados por la empresa, así como de los tiempos entre llegada de las piezas. Se realizan las pruebas de bondad de ajuste correspondientes y se definen las distribuciones de probabilidad para cada caso. Por las características de los datos se decide que la unidad de tiempo en la que se trabajará el modelo será en minutos.

**Paso 3 Construcción del modelo.** El modelo se realizó con el software AnyLogic® Personal Learning Edition multi-method simulation platform, pues éste permite usar agentes inteligentes. Basándose en las particularidades del problema, el modelo construido fue un conjunto de simulación de eventos discretos con dinámica de sistemas, ya que, se necesitaba que los agentes tomaran, en forma dinámica, la decisión de la cantidad de pedidos a realizarse, considerando el objetivo de demanda puesto y el comportamiento de los tiempos de llegada, así como de los procesos. El modelo se corrió para verificar que funcionaba correctamente y que arrojaba resultados coherentes, en él se monitorean los dispositivos finales obtenidos y el tiempo de proceso.

**Paso 4 Pruebas piloto.** Se corrió el modelo 15 veces y las salidas resultantes se compararon lo obtenido en la primera corrida, dando valores similares, por lo que se puede indicar que el modelo representa adecuadamente el sistema.

**Paso 5 Validación del modelo.** Se realizó la prueba t-pareada para comparar los resultados obtenidos de la simulación y de la experimentación real, tomando como medida de desempeño el tiempo de procesamiento en el sistema, con una confianza del 99%, se puede indicar que se cuenta con un modelo confiable.

**Paso 6 Diseño de experimentos.** Es necesario calcular el número de corridas óptimo para, tomar decisiones certeramente adecuadas y válidas. Para determinar el número óptimo de corridas de un modelo de simulación, se utiliza el procedimiento de estimación de la media  $\mu = E(x)$  con un error específico, una vez que el modelo ha sido validado. En este modelo el número óptimo de corridas es 21.

**Paso 7 Corridas del modelo.** Dadas estas características, se procedió a realizar el análisis con ayuda del complemento Simulation experiments de AnyLogic® Personal Learning Edition multi-method simulation platform.

**Paso 8 Análisis de resultados.** Mediante la interfaz gráfica del modelo y la programación de un histograma, se pudieron observar las piezas elaboradas y el tiempo en promedio del sistema, con ayuda de esto se puede hacer recomendaciones

sobre la mejor cantidad de piezas a ordenarse para suplir la demanda en tres semanas.

## VII. RESULTADOS

El modelo resultante, con los objetos previamente descritos se observa en la Figura 6, en éste es posible observar, que, al lado de cada agente, se marcan los pedidos que se han realizado. Asimismo, dicho modelo se realizó en 3D, con el fin de presentar, de una manera sencilla, cómo funciona el proceso y para agregar una estética diferente usando, además, más componentes del software con el que se trabajó, esto se muestra en la Figura 7.

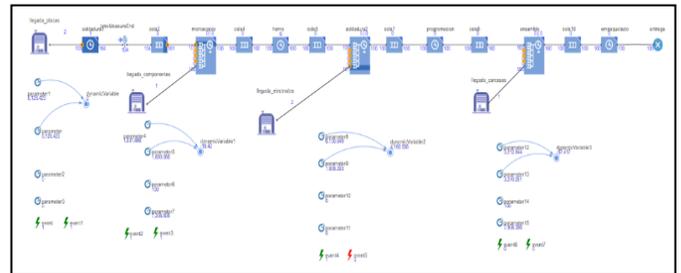


Fig. 6 Modelo de simulación final

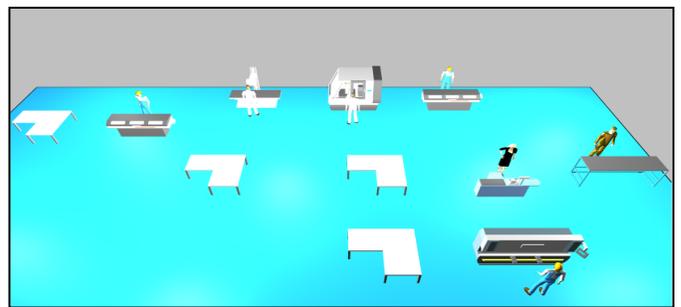


Fig. 7 Modelo de simulación final con objetos 3D

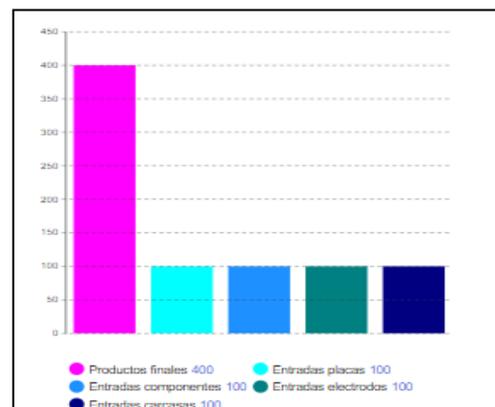


Fig. 8 Resultados de productos terminados contra piezas ordenadas

Hay que enfatizar que el objeto de la simulación es conocer el contexto con el cual el proceso funciona adecuadamente, supliendo las necesidades de demanda. Gracias a que no sólo se modeló el proceso, sino que también se añadieron los

agentes inteligentes, fue posible identificar que, cuando se ordenan 100 elementos, se cubre exactamente en la meta de producción de la empresa, cada vez que simulaba, fue posible identificar este resultado. En la Figura 8, se ve un ejemplo de que, cuando se hace el pedido mencionado, las unidades resultantes son 400.

Como se indicó, también fue necesario validar el modelo, por lo tanto, se usó la prueba t-pareada para este cometido (Véase Tabla VII), la cual demostró que, con un 99% de confianza, la diferencia entre las medias de los datos reales y los simulados no es estadísticamente significativa, y que las diferencias existentes pueden ser explicadas por fluctuaciones aleatorias, con lo que se puede aceptar como válido el modelo de simulación elaborado.

En la tabla VIII se observa el cálculo de experimentos adecuados, de acuerdo con los parámetros de la simulación, es decir 21 corridas, mismas que se incluyeron para mostrar la cantidad de piezas que se consiguieron en cada ocasión, a partir de esto, se puede recomendar, a la empresa, que siempre y cuando se realicen pedidos de lotes de 100 de las piezas con las que se produce el dispositivo, potencialmente, se lograrán los 400 productos terminados; sin embargo, como se puede notar en dicha tabla, en algunos de los experimentos, no se consiguió la meta solicitada, esto tiene relación con el tiempo entre llegadas de la materia prima y con los tiempos de proceso, que están influenciados por una distribución de probabilidad.

TABLA VII DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y PIEZAS OBTENIDAS

Corridas	$X_j$	$Y_j$	$Z_j$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	220.68	226.45	-5.77	21.585316
2	222.56	217.59	4.97	37.136836
3	224.44	222.56	1.88	9.024016
4	216.64	218.11	-1.47	0.119716
5	205.96	223.41	-17.45	266.538276
6	208.13	215.57	-7.44	39.891856
7	223.36	224.13	-0.77	0.125316
8	213.91	208.59	5.32	41.525136
9	216.23	218.1	-1.87	0.556516
10	230.78	225.35	5.43	42.954916
11	215.72	220.2	-4.48	11.262736
12	226.02	224.19	1.83	8.726116
13	226.9	225.82	1.08	4.857616
14	231.82	231.51	0.31	2.056356
15	219.11	217.54	1.57	7.257636
Suma	3302.26	3319.12	-16.86	493.61836
Promedio	220.15	221.27	-1.12	32.91
Prueba t	2.977	$\sqrt{\text{Var}[\bar{Z}_{15}]}$		2.351
Intervalo		-5.688	A	3.440

Diseño de experimentos	
i	21
$\alpha$	0.1
t	1.724718243
Raíz	0.514878312
=	0.888020017
Se deben hacer las i repeticiones mencionadas	
Consecutivo	Piezas obtenidas
1	400
2	362
3	380
4	375
5	400
6	343
7	384
8	300
9	385
10	353
11	400
12	400
13	400
14	400
15	334
16	400
17	400
18	400
19	400
20	400
21	400

Número de repeticiones y

### VIII. DISCUSIÓN

El uso de las diferentes técnicas empleadas en este trabajo resulta debatible; sin embargo, dada la estructura del modelo de simulación se consideró práctico la combinación de las mismas pues, primeramente, con la simulación de eventos discretos se pudieron describir procesos, definirlos adecuadamente y representar la incertidumbre a partir de distribuciones estocásticas, por otra parte, la simulación basada en agentes permitió que, con la interrelación entre los agentes, se determinara el comportamiento que seguiría el sistema basándose en la estructura de dinámica de sistemas la cual hizo posible modelar de forma más realista el problema por medio de la interacción de relaciones causales [25].

Gracias a la visión con la que se emprendió el diseño del modelo de simulación se pudo obtener un panorama más específico de las necesidades de la empresa, así como entender las partes del proceso donde es necesario realizar un mejor análisis de planeación. Este trabajo de investigación no pretende establecer cuál de todas las técnicas resulta mejor, sino corroborar que el trabajo en conjunto de las técnicas utilizadas en ocasiones resulta factible siempre y cuando el medio a modelar permita el uso de ellas.

## IX. CONCLUSIONES

La simulación basada en agentes permite ventajas que con otro tipo de simulación no podrían obtenerse, con la elaboración de este artículo, éstas pudieron identificarse, pues, de una manera más sencilla, se pudo encontrar qué cantidad de pedidos eran necesarios para suplir la demanda y si se contaba con la capacidad suficiente para conseguir dicho cometido.

Los resultados alcanzados con el modelo de simulación no solo son estadísticamente confiables, sino que también ayudan a tener un conocimiento mayor sobre lo que está ocurriendo realmente en el sistema de producción, medir lo que ocurría, tener un control sobre las variables que intervienen y luego entonces, facilitar la toma de decisiones para la empresa sobre un producto que irá incrementando su demanda tomando en cuenta las condiciones actuales sobre el desarrollo de las enfermedades cardiovasculares.

Fue posible darse cuenta de la cantidad de piezas mínimas necesarias para suplir la demanda de lo que la empresa espera sean sus clientes potenciales, pero también se pudo notar que hay ocasiones en las que la producción para lo cual es recomendable llevar un control de las fechas de pedido y recepción y evitar hacer los pedidos en fines de semana, además de no pedir menos de 100 piezas al distribuidor y hacer un monitoreo del proceso para que no existan anomalías que pudiesen retrasar la producción.

Concluyendo, no sólo se logró desarrollar un modelo confiable, con el que será posible seguir trabajando pues puede modificarse para ser sensible a los casos que se presenten, y dar las sugerencias pertinentes, sino que, además, se aprendió un simulador que trabaja de manera muy eficiente, pues permite combinar eventos discretos, dinámica de sistemas y el uso de agentes, para lo que, este caso, fue de suma importancia, además de ofrecer una interfaz amigable para trabajar en ella y diversos objetos que permiten darle una mejor estética al modelo resultante.

## REFERENCIAS

[1] Organización Mundial de la Salud. (18 de junio de 2018). Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases#:~:text=Las%20enfermedades%20no%20transmisibles%20\(ENT,de%20ingresos%20bajos%20y%20medianos.](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases#:~:text=Las%20enfermedades%20no%20transmisibles%20(ENT,de%20ingresos%20bajos%20y%20medianos.)

[2] INEGI. (2019). Obtenido de [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

[3] Asociación ALE. (5 de octubre de 2017). Obtenido de <https://asociacionale.org.mx/enfermedades-cardiovasculares-principal-causa-de-muerte-entre-los-mexicanos/>

[4] Mayo Clinic. (7 de diciembre de 2018). Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/heart-disease/diagnosis-treatment/drc-20353124>

[5] Macías-Litardo, M. A., & Gil, D. (2018). La demanda y su influencia en la capacidad de la organización. *Revista contribuciones a la economía*.

[6] Arnoletto, J. E. (2007). *Administración de la producción como ventaja competitiva*. Guadalajara: Edición electrónica.

[7] Carro-Paz, R., & González-Gómez, D. (2012). *Capacidad y distribución física*. Administración de las operaciones. Mar de la Plata: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales

[8] Torres-Velásquez, J. A. (2019). Una aplicación de la carta de control para medias y rangos (X-R) y análisis de capacidad del proceso (ACP), en la producción de sobres de azúcar personalizados bajo el supuesto de normalidad. *Avances: Investigación en ingeniería*, 20-35.

[9] Reyes-Vásquez, J. P., Aldás-Salazar, D. S., Morales-Perrazo, L. A., & García-Carrillo, M. G. (2016). Evaluación de la capacidad para montaje en la industria manufacturera de calzado. *Revista de Ingeniería Industrial*.

[10] Oquendo-Ferrer, H., González-Suárez-Erenio, Ley-Chong, N., & Nápoles-García, M. F. (2019). Cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas considerando elementos de incertidumbre. *Revista Centro Azúcar*, 24-34.

[11] Rivera-Avilés, K., Figueroa-Rodríguez, G., & Avilés-Negroni-Adriana. (2019). Capacity improvement and production in a window assembly workshop through the facilities deployment. *REVISTA LATINO-AMERICANA DE INOVAÇÃO E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 151-168.

[12] Reyes-Vásquez, J. P., Altamirano-Zanipatin, I., Aldás-Salazar, D. S., Morales-Perrazo, L. A., & Reyes-Vásquez, C. R. (2017). Modelo de planeación y programación de la producción para el troquelado de cuero en la industria de calzado. *Ingeniería Industrial*, 233-249.

[13] Gómez-Montoya, R. A., Hernández-Vahos, J. D., & Correa-Espinal, A. (2016). Análisis de un sistema de producción de cárnicos utilizando simulación discreta. *Revista espacios*.

[14] Sablón-Cossío, N. (2017). Capacidad productiva de una industria láctea del Puyo, Ecuador. *ECA Sinergia*, 31-43.

[15] Simón-Marmolejo, I. (2011). Análisis de capacidad de planta de una empresa fabricante de productos lácteos aplicando el método Monte Carlo. *Primer Congreso de Innovación Tecnológica en Electromecánica, Computación y Negocios*.

[16] López-Sánchez, A. Y., González-Lara, A. L., & Alcaraz-Corona, S. (2019). Simulación para la optimización de la producción de ejes en la línea de ensamblaje de una empresa de manufactura. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 1-9.

[17] Peña-Ariza, L. V., & Felizzola-Jimenez, H. A. (2020). Optimización de la capacidad de producción en una empresa. *Revista chilena de ingeniería*, 277-292.

[18] Núñez-Segovia, J., Godoy-Garvs, J., & Pérez-Pozo, L. (2016). Determinación de restricciones de capacidad de producción en proceso de obtención de cobre. *Revista chilena de ingeniería*, 49-59

[19] Giubergia, A. A., Gil-Costa, V., Mansilla, Y., Narváez, D., Bertello, M. E., & Besso, M. (2016). Simulación aplicada al cálculo de capacidades de almacenamiento y stock piles. *Minería y Geología*, 70-85.

[20] Rodríguez-Alvarado, L. W., Loyo-Quijada, J., López-Ontiveros, M. Á., & González-Sosa, J. V. (2019). Simulación

dinámica de un sistema de producción retroalimentado.

Ingeniería Industrial, 171-182.

[21] Icarte-Ahumada, G. (2016). Aplicaciones de inteligencia artificial en procesos de cadenas de suministros: una revisión sistemática. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 663-679.

[22] Pérez-Álvarez, E., Bautista-Marañón, J. I., & Pérez-Ríos, J. M. (2001). Aplicación del paradigma de los agentes inteligentes a los sistemas de producción. Congreso de Ingeniería de Organización.

[23] Coloma-Garofalo, J. A., Vargas-Salazar, J. A., Sanaguano-Guevara, C. A., & Rochina-Chisag, Á. G. (2020). inteligencia artificial, sistemas inteligentes, agentes inteligentes. *Recimundo*, 16-30.

[24] Camargo, C. (14 de abril de 2019). La Opinión. Obtenido de <https://laopinion.com/guia-de-compras/5-dispositivos-para-monitorear-tu-frecuencia-cardiaca-si-tienes-alguna-enfermedad-del-corazon/>

[25] Sarmiento-Vásquez, A., & López-Sandoval, E. (2017). Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes. *Ingeniería Industrial*, 27-52.

# **Evaluación del impacto de los parámetros importantes del proceso de beneficiado húmedo del café en el consumo de materias primas y energía bajo el enfoque de agentes inteligentes**

Fabián Cessa Valdés, Luis Daniel Uscanga Mañón,  
Constantino Gerardo Moras Sánchez, Magno Ángel González Huerta,  
Alberto Alfonso Aguilar Lasserre

# Evaluación del impacto de los parámetros importantes del proceso de beneficiado húmedo del café en el consumo de materias primas y energía bajo el enfoque de agentes inteligentes

Fabián Cessa Valdés, Luis Daniel Uscanga Mañón, Constantino Gerardo Moras Sánchez, Magno Ángel González Huerta, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre.

Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación  
Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Orizaba  
línea 3: Orizaba, Ver. México

fabian.cessval@gmail.com, daniel\_um10@hotmail.com, t\_moras@yahoo.com.mx, magnogh@yahoo.com.mx, albertoaal@hotmail.com.

**Resumen:** *El café es uno de los productos de mayor consumo a nivel mundial. Su consumo se encuentra cerca de 1.41 kg de café per cápita anuales. La obtención del café como producto terminado consta de un proceso largo conformado por varias etapas. Cada una de ellas son cruciales para asegurar la calidad de este mismo, desde la preparación del cultivo para la obtención de cerezas, hasta el proceso de tostado. Sin embargo, las cerezas son un producto perecedero y su producción se da únicamente en una temporada específica al año. Además, la demanda de café tostado como producto final es gradual a la oferta que existe en la temporada de cosecha, por lo que es necesario tratar el grano en un proceso que permita almacenar el café desde la temporada de obtención hasta que la demanda lo requiera sin que el producto pierda su calidad. Este proceso es llamado beneficiado húmedo, el cual, consiste en retirar del grano la humedad contenida en él. Este proceso se ve afectado por el parámetro asociado al rendimiento de café cereza a pergamino. Este rendimiento impacta principalmente en el uso de los recursos utilizados para llevar a cabo el proceso, por ejemplo, la electricidad, el agua y combustibles (biomasa). El tiempo de ciclo del proceso también se ve afectado por el rendimiento. El objetivo de este proyecto es realizar un análisis de sensibilidad, mediante un modelado sistémico del proceso, mediante la aplicación de agentes múltiples que ayuden a la comprensión del sistema no lineal, así como de los parámetros de éste. Se plantearon diversos escenarios, enfatizando en aquellos que el rendimiento afecta de manera significativa a las variables del proceso. El análisis permite al decisor evaluar las acciones a implementar para la mejora de este proceso.*

**Palabras clave:** *Café, Análisis de sensibilidad, Dinámica de sistemas, Sistemas Multi-agente, Rendimiento, Beneficiado húmedo.*

## I. INTRODUCCIÓN

Se entiende como rendimiento del café cereza a café pergamino seco, como la relación del peso de los frutos del café cereza tal como fueron cosechadas, sobre el peso del café pergamino seco, obtenido mediante el proceso de beneficio del café.

Las constantes físicas del café son las relaciones físicas existentes entre el peso y el volumen, el contenido de humedad

y otras características del fruto del café, teniendo en cuenta los diferentes estados en que se puede transformar el producto desde cereza madura hasta café pergamino. Las constantes físicas son un instrumento útil para evaluar el sistema productivo, éstas facilitan las operaciones comerciales y el diseño de los beneficiaderos, así como el diseño y calibración de los diferentes dispositivos y máquinas empleados en el proceso de beneficio del café [2].

El rendimiento del café depende de factores como son: variedad, edad de la plantación, manejo del cultivo, régimen de lluvias, períodos de cosecha, contenido de humedad del café cereza, calidad de la recolección, métodos, demoras y fallas durante el beneficio. Durante el período de cosecha, el contenido de humedad del café cereza y la recolección influyen en los rendimientos y las características del grano. La calidad del café seco obtenido depende esencialmente de la calidad de la cereza recolectada; sin embargo, el café puede perder sus cualidades inherentes como consecuencia de un inadecuado proceso de beneficio aun cuando el café cereza haya sido cultivado eficientemente [2].

Por las anteriores razones se considera que el actual sistema de conversiones en café es susceptible de mejorar y ajustar a las nuevas condiciones de la industria cafetera mexicana. En este trabajo se presenta un análisis de sensibilidad que evalúa el uso de las materias primas en el proceso del beneficiado húmedo, en relación con el rendimiento de café cereza a pergamino, haciendo uso de la dinámica de sistemas basado en agentes.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Un análisis de sensibilidad es una técnica utilizada para determinar cómo diferentes valores de una variable independiente impactan en una variable dependiente particular bajo un conjunto dado de suposiciones [10]. Esta técnica se usa dentro de límites específicos que dependen de una o más variables de entrada, por ejemplo, en el caso de esta investigación, cuál es el efecto que los cambios en las entradas de café cereza, su rendimiento y la cantidad de leña impactan

en el uso de materias primas y energía necesarias para la obtención de café pergamino a partir del café cereza.

El análisis de sensibilidad aporta información del grado en que el parámetro de diseño ha de modificarse para conseguir el nivel de calidad deseado. Si se conoce la influencia y la sensibilidad del parámetro de diseño, se puede determinar mejor el valor del parámetro en particular. Mostrando que el parámetro de diseño (input) influye en la calidad (output) y en qué medida ocurre, el proceso de conformado se hace transparente.

Existe una amplia variedad de áreas y disciplinas en las que el análisis de sensibilidad puede ser empleado, pero para fines de esta investigación solo se hará énfasis en la literatura existente relacionada con aquellos trabajos en los que esta técnica es empleada para conocer los impactos de variables independientes sobre los rendimientos de cultivo (variable dependiente), o el caso contrario, como lo es el presente trabajo, tratando el rendimiento de determinado cultivo como la variable independiente para conocer su impacto sobre las materias y energías utilizadas dentro de sus respectivos procesos; bajo diferentes enfoques o técnicas empleadas.

Con la finalidad de realizar un análisis de sensibilidad de la inversión en riego por goteo y en riego por gravedad en la producción de caña de azúcar, [4] evaluó tres variables sometidas al análisis de sensibilidad para los dos sistemas de riego: producción de caña por hectárea (se sensibilizó hacia la baja), precio de venta por tonelada de caña (sensibilizado hacia la baja) y variaciones en costos directos de producción (sensibilizado hacia la alta), se utilizó la metodología para análisis de sensibilidad de Novelo (1994). Las tres variables sometidas al análisis de sensibilidad mostraron diferencias que favorecen a los resultados obtenidos con el sistema de riego por goteo sobre el sistema de riego por gravedad.

Por su parte, [5] aplicó un modelo SUCROS (a Simple and Universal Crop Growth Simulator) para simular crecimiento potencial de cultivos, en la ejecución de un análisis de sensibilidad y una calibración. Se llevó a cabo un experimento de crecimiento para cuantificar los cambios en biomasa y área foliar del cultivo. Para identificar a los parámetros de entrada del modelo que afectan más las predicciones de las variables respuesta peso seco total, foliar y de frutos, se realizó un análisis de sensibilidad global. Se definieron funciones de densidad uniformes para los parámetros y se usaron la prueba extendida de sensibilidad de amplitud de Fourier y el método de Sobol para calcular los índices de sensibilidad de primer orden y de efectos totales, al inicio, a la mitad y al final del periodo de cultivo. Se ejecutaron 5000 simulaciones Monte Carlo para el primer método y 2700 para el segundo. El modelo fue calibrado mediante el procedimiento de mínimos cuadrados ponderados mediante el uso de los parámetros para los cuales fue más sensible. Se encontró que los parámetros tasa relativa de crecimiento del área foliar, temperatura base, área foliar específica, tasa de asimilación potencial foliar de CO<sub>2</sub>, eficiencia de uso de la radiación y coeficiente de extinción de la radiación, afectan en mayor medida el comportamiento del modelo SUCROS aplicado a tomate de cáscara.

Para el caso de la cadena productiva del arroz, [6] ubica a los agricultores, quienes cultivan el arroz paddy (arroz con cáscara) que se constituye en la materia prima del arroz blanco como el primer eslabón de la cadena. El rendimiento del cultivo de arroz paddy (dado por la relación entre unidades producidas y área cultivada), está determinado principalmente por variables asociadas a los insumos, labores agrícolas, condiciones agroecológicas del suelo y el clima (particularmente el ciclo de lluvias y sequías). El presente documento analiza estadísticamente el comportamiento y evolución de los rendimientos obtenidos por área cultivada de arroz paddy en Colombia, durante un periodo de 35 años, para lo cual se propone la aplicación de series de tiempo a los datos disponibles, específicamente un modelo ARIMAX (p,d,q) a través del cual se busca recoger la sensibilidad del rendimiento histórico y la incorporación de algunas variables exógenas como son el consumo de fertilizantes, el nivel de las reservas de capital en maquinaria agrícola, la temperatura media nacional y el indicador de precipitación nacional. El modelo obtenido es usado para describir el comportamiento de la serie y para proyectar el comportamiento esperado del rendimiento por hectárea del cultivo de arroz paddy de los próximos tres 3 años, evidenciando una muy lenta evolución de los rendimientos futuros del cultivo, lo que no contribuye a mejorar la competitividad del sector, de cara a los retos planteados por los jugadores internacionales.

En su artículo [7], evalúa la sensibilidad y la incertidumbre de los modelos suelo-cultivo, lo cual resulta beneficioso para la calibración del modelo y el desarrollo de las mejores prácticas de gestión del agua y el nitrógeno. Este estudio adoptó el método de cribado de Morris y el método basado en la varianza de Sobol, combinado con un modelo de sistema agrícola (WHCNS), para analizar la sensibilidad y la incertidumbre globales de la lixiviación de nitratos y el rendimiento de los cultivos para modelar los parámetros de entrada bajo diferentes prácticas de manejo de agua y nitrógeno.

[9] menciona que la variabilidad climática controla la variabilidad del rendimiento de los cultivos con impactos en la seguridad alimentaria a nivel local, regional y global. Este estudio utiliza elasticidad no paramétrica para investigar la sensibilidad del rendimiento de los cultivos de los cuatro principales cultivos mundiales (trigo, arroz, maíz y soja) a tres variables climáticas (precipitación (PRE), evapotranspiración potencial (PET) y temperatura media del aire. (TMP)). Existen tendencias y correlaciones seriales tanto en las variables climáticas como en el rendimiento de los cultivos durante el periodo de estudio (1961 a 2014). Para superar esta limitación, se aplicó el método Trend Free Pre-Whitening (TFPW). Los rendimientos de los cultivos son más sensibles a la TMP a nivel mundial. Pero la sensibilidad exacta varía entre continentes. El concepto de elasticidad no paramétrica es un enfoque simple y eficiente que complementa los métodos de modelos lineales existentes utilizados para detectar los impactos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos y puede usarse para investigar las consecuencias futuras del cambio climático en la producción agrícola de escala local a global.

En el estudio [10] se menciona que la fermentación es un paso importante en el procesamiento del café que promueve la eliminación del mucílago adherido a los frutos. Este proceso tiene un impacto directo en la calidad del café, y se ha sugerido el uso de biorreactores y cultivos iniciadores para el control del proceso. En este estudio, se realizó un análisis técnico-económico para evaluar los costos de inversión y el desempeño económico de la inclusión de un modelo de biorreactor de tanque agitado (STB) y cultivos iniciadores en una planta de procesamiento de café. La inversión de capital total y los costos de producción para una finca de café de 45 toneladas de capacidad que opera con 2 STB fueron US \$1 millón y 0.74\$/kg más altos, respectivamente, que el procesamiento convencional con tanques abiertos. Los principales factores del aumento de los costos incluyeron la implementación de biorreactores (73% de los costos del equipo) y cultivos iniciadores (88% de los costos de producción).

En el análisis realizado por [11] explica que la humedad del suelo antes del momento de la siembra puede influir en el rendimiento del cultivo al afectar el enraizamiento y la emergencia de las plántulas, lo que lo convierte en un factor importante en el manejo agronómico. Sin embargo, no se ha cuantificado el grado en que la humedad inicial del suelo influye en el rendimiento de los cultivos, especialmente en las regiones emergentes donde la seguridad alimentaria es un desafío importante y los datos de campo sobre la humedad del suelo y las condiciones meteorológicas son escasos. Por esta razón se cuantifica la sensibilidad del rendimiento y la producción de cultivos a las condiciones iniciales de humedad del suelo en la cuenca del Alto Nilo Azul (UBNB) de Etiopía utilizando un modelo de cultivo distribuido espacialmente basado en procesos (DSSAT) vinculado a un modelo hidrológico (CREST), y evaluar el potencial del manejo de la humedad del suelo para promover resultados agrícolas. Los resultados del modelado sugieren que el rendimiento y la producción de los cultivos de cereales aumentan con la humedad inicial del suelo, y muestran una mayor sensibilidad en el este de los UBNB que en el oeste y durante los años secos que en los años húmedos. En algunas áreas del este de UBNB, en comparación con las condiciones normales de humedad del suelo, el suelo inicial extremadamente húmedo puede duplicar el rendimiento del cultivo; en años extremadamente secos, mojar el suelo durante la siembra podría prevenir la pérdida de cultivos y mejorar el rendimiento de los cultivos a un nivel igual o incluso superior al de un año de precipitación promedio.

En los últimos años se han propuesto las energías renovables como solución para mitigar el cambio climático. En este sentido, la biomasa se ha convertido en una alternativa más popular que otras fuentes de energía renovable, como la energía solar y la energía eólica. Como principal ventaja, la biomasa se obtiene a partir de materia orgánica, lo que la hace consistente durante todo el año. Los estudios de [12] sobre la biomasa como fuente de energía se suelen realizar a escala piloto para determinar su potencial energético. Sin embargo, se hace menos énfasis en el estudio de las operaciones logísticas y variables clave que posibilitan la viabilidad de la biomasa como fuente

de energía a escala industrial. Para abordar esta brecha, estudiamos el potencial de la pulpa de café como fuente de biomasa y, en consecuencia, como fuente de energía. Para ello utilizamos la metodología System Dynamics. Primero, se desarrolló un modelo de simulación donde los resultados indican que una tonelada de pulpa de café es capaz de producir 180 m<sup>3</sup> de biogás, que a su vez puede generar 0.41 MW de electricidad neta. Luego, se realizó un análisis de sensibilidad de 20 años para identificar las variables clave que garantizan la generación de electricidad a partir de la pulpa de café, que incluyen el área cosechada (hectáreas), rendimiento de café cereza (ton/ha) y uso eficiente de la pulpa de café.

Por último, en el artículo realizado por [8] se caracterizó el proceso de beneficio del café en fincas productoras del municipio de Viotá por medio de una lista de chequeo, la cual se estructuró de acuerdo con la metodología pepsu y 5m, que consiste, por un lado, en analizar proveedores, entradas, procesos, salidas y usuarios; y por otro, maquinaria e instalaciones, métodos, mano de obra, materia prima y medio ambiente. Los resultados establecieron las condiciones actuales del proceso de beneficio del café, caracterizando las etapas de recibido, despulpado, manejo de la pulpa, remoción de mucílago, lavado y clasificación, secado, ensaque, almacenamiento y transporte. Con esto, se concluyó que, con el fin de mejorar el proceso de transformación de café, es necesario considerar la disponibilidad y funcionalidad de la maquinaria e infraestructura, las competencias de los colaboradores, el buen estado del café cereza proveniente del cultivo, la estandarización y el control del proceso, así como velar por el mínimo impacto en el medio ambiente.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una vez cortado el fruto del café, es sometido a un proceso o beneficiado por una de las dos vías existentes: el método húmedo y el método seco. El primero, que es en el que se centra este análisis de sensibilidad, también llamado café lavado, es el más costoso y complejo. Este método emplea a los cafés arábicas de alta calidad, con la finalidad de conservar todas sus propiedades, por esta razón son los cafés más caros o mejor pagados, todo este proceso trae como consecuencias la generación de residuos como pulpa y aguas mieles, los cuales si no se manejan adecuadamente generan dificultades al ambiente [15].

De los dos procedimientos de transformación primaria del café, “la vía húmeda” incluye las etapas de beneficiado húmedo y seco para la obtención de café pergamino. En esta etapa los consumos de agua son para la etapa del lavado y el despulpado; por su parte, el consumo de energía y leña se ocupan durante la etapa del beneficiado seco, siendo estas las variables de salida o de interés del sistema, y que varían de acuerdo con la cantidad en Kg de café cereza que entren al sistema, su rendimiento y la eficiencia de los hornos, los cuales son definidos como los parámetros importantes de entrada del sistema; existen otros parámetros que afectan estos consumos, pero el presente análisis solo se enfoca en el análisis del impacto de las variables de entrada ya mencionadas en las de salida, ya que el nivel de

calidad del proceso es medido con base en las características del café como producto terminado. Por tal motivo, se considera crítico conocer el impacto que se genera a partir de parámetros importantes como el rendimiento, eficiencia de hornos, entre otras.

#### IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO BASADO EN AGENTES

Según [3] son varias características que se le atribuyen a los agentes, sin embargo, hay tres principales en los que existe un gran consenso.

**Reactivo:** El agente debe ser capaz de responder a cambios en el entorno en que se encuentra situado. Actuando como resultado de esos cambios.

**Pro-activo:** El agente debe ser capaz de intentar cumplir sus objetivos y planes y controlarlos a pesar de los cambios en su entorno.

**Social:** El agente debe comunicarse con otros agentes mediante algún tipo de comunicación.

El sistema presentado consta de 4 agentes, y según la definición anterior los 4 son agentes reactivos, ya que su acción depende del estado del entorno y los cambios que se presentan. Cada uno de ellos se describe a continuación.

1. **Agente Café:** Este agente como primer paso asigna los valores iniciales de la simulación a los parámetros de llegada, rendimiento y los nodos que relacionan a los subproductos del proceso de despulpado. Un segundo paso detiene la llegada de cereza cuando el nivel de cereza iguala a la llegada, 1 (esto para asemejar a la realidad del café cereza que fue recibido).
2. **Parámetros:** Este agente le da dinamismo a los parámetros inciertos del proceso en los cuales recae la mayoría de la variabilidad de este proceso, estos son la energía para el secado, el uso del agua y la eficiencia del horno.
3. **Fin llegadas:** Este agente detiene los flujos de la llegada y de los materiales usados en el despulpe, basados la cantidad de cereza restante.
4. **Fin Cereza:** Este agente detiene todos los parámetros de la simulación, originando el paro del proceso en momento condicionante de las entradas.

La propuesta del presente proyecto es realizar un análisis de sensibilidad del uso de las materias primas en el proceso del beneficiado húmedo, en relación con el rendimiento de café cereza a pergamino, haciendo uso de la dinámica de sistemas basado en agentes.

Para ello es necesario cuantificar mediante análisis estadísticos la influencia del rendimiento, de cada uno de los consumos de las materias primas (agua, leña y electricidad), así como las relaciones que existen entre cada uno de los parámetros del sistema. Basándose en la teoría de agentes, siendo los parámetros importantes la eficiencia del horno, entrada de café cereza (kg) y rendimiento (proporción). En el estudio realizado, existen variables determinísticas, como lo es el poder calorífico de la biomasa (leña), porción de pulpa, debido a que son parámetros específicos del proceso estudiado.

Otros parámetros están dados por distribuciones de probabilidad, pero están sujetos a los flujos de materiales del mismo proceso y los cuales se dan en unidades por Kg. Las variables que se ven afectadas en el sistema se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ

Variable	Descripción	Relación/Formula
<b>Entrada</b>	Es la cantidad de café cereza que ingresa en el sistema	*Dado por el flujo de llegadas/entradas
<b>Café pergamino</b>	Cantidad de café pergamino producido	*Dado por el flujo de pergamino (Entrada*Rendimiento)
<b>Agua evaporada</b>	Cantidad total de humedad presente en los granos	*Dado por el flujo de la humedad de los granos.
<b>Calor aprovechado</b>	Cantidad de calor aprovechado para la evaporación de humedad	Calor necesario*Agua evaporada
<b>Calor</b>	Cantidad de calor total usado para la evaporación de la humedad	Calor necesario*Agua evaporada
<b>Biomasa</b>	Cantidad total de biomasa(leña) consumida en el proceso de secado del grano	Calor * (1/Poder calorífico)
<b>Electricidad despulpe</b>	Energía eléctrica necesaria para retirar pulpa y mucilago del grano	Llegada*Energía despulpe
<b>Electricidad secado</b>	Energía eléctrica necesaria para retirar humedad al grano	Café pergamino* Energía secado
<b>Agua</b>	Es la cantidad de agua necesaria para despulpar y retirar el mucilago del grano.	Uso de agua*Llegadas
<b>Desecho pulpa</b>	Cantidad de materia de desecho del proceso	Dado por el flujo de Porción pulpa

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros del modelo propuesto son considerados del tipo reactivo, ya que actúan solo por reacción al haber una influencia del entorno. Estos parámetros se encuentran definidos por distribuciones de probabilidad como se muestra en la Tabla 2.

Las distribuciones triangulares son usadas en casos donde los datos no son suficientes para demostrar un ajuste adecuado a distribuciones de probabilidad clásicas como la normal. Los parámetros de esta se definen a través del valor mínimo la moda

y máximo, pudiendo ser asignados los valores existentes entre ellos.

TABLA 2. PARÁMETROS DEL PROCESO

Parámetro	Descripción	Valor
Rendimiento	Cantidad del peso del café cereza que es convertido en café pergamino	Distribución triangular (0.189,0.210,0.234)
Pulpa	Cantidad en peso del café cereza que es desechado del proceso	0.4 kg por cada kg
Porción humedad	Cantidad en peso que corresponde a la humedad contenida en los granos	1-(Rendimiento+ Pulpa)
Llegada	Cantidad de kilogramos de café cereza que entra al sistema	Distribución triangular (5000,6500,9000)
Uso agua	Cantidad de agua en litros utilizada por kg de cereza	Distribución triangular (1.9,2.07,2.4)
Energía despulpe	Cantidad de energía para despulpar 1 kg de café cereza	0.0015 Kwh
Energía secado	Cantidad de energía para secar 1 kg de café pergamino	Distribución triangular (0.0027,0.0029,0.0032)
Poder calorífico	Cantidad de energía de 1 kg de biomasa	4 kcal por kg
Calor necesario	Cantidad de energía usada para evaporar 1kg de agua	83.18 cal por kg
Eficiencia	Energía aprovechada por el horno.	Distribución triangular 1/ (0.015,0.017,0.020)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se encuentran concentradas las variables de flujo dadas por los parámetros definidos anteriormente y mediante los cuales se dan los productos de los procesos de despulpado y secado, siendo estos subproductos, materias primas de interés en el proceso de transformación completo.

TABLA 3. FLUJOS DEL SISTEMA

Variable de flujo	Descripción	Parámetro relacionado
Entradas	Es la cantidad de café que ingresa al sistema	Llegadas
Desecho pulpa	Cantidad de materia desechada del sistema	Pulpa
Humedad	Cantidad de agua contenida en los granos	Porción humedad
Flujo pergamino	Cantidad de café aprovechado	Rendimiento

Fuente: Elaboración propia.

## V. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio, fue necesario utilizar la metodología de simulación propuesta en [1].

1.- Definición del problema. La principal problemática expuesta en este artículo es el impacto de los parámetros de interés, los cuales son el rendimiento y la eficiencia del horno

en el proceso de beneficiado húmedo del café en el uso de materias primas, agua, energía y biomasa (leña).

2.- Formulación de objetivo. El objetivo del modelo será realizar un análisis de sensibilidad para diferenciar como es que las materias primas son afectadas.

3.- Descripción del sistema y suposiciones. El proceso de beneficiado húmedo, posterior a la recolección, consiste en procesar el café haciendo uso de electricidad y agua. Seguido del periodo de fermentación, el café es lavado y se comienza con el secado, esto para retirar la humedad restante del grano mediante calor obtenido de la combustión de biomasa (leña) en un horno.

4.-Enumeración de soluciones alternativas. En este estudio es necesario revisar cual es el consumo de cada materia prima usada en cada uno de los parámetros del sistema.

5.- Recopilación de la información. Como se mencionó en apartados anteriores, se obtuvieron datos del proceso y se asignó a cada parámetro su respectiva distribución de probabilidad triangular, como se muestra en la Tabla 2. De igual manera, en la Tabla 3 la relación entre variables.

6.- Diseño del modelo. La Figura 5 muestra el modelo sistémico del proceso, definiendo de manera visual las influencias entre variables, parámetros y flujos, el cual fue desarrollado en el software AnyLogic® mediante su version personal de estudiante que ofrece dicha plataforma.

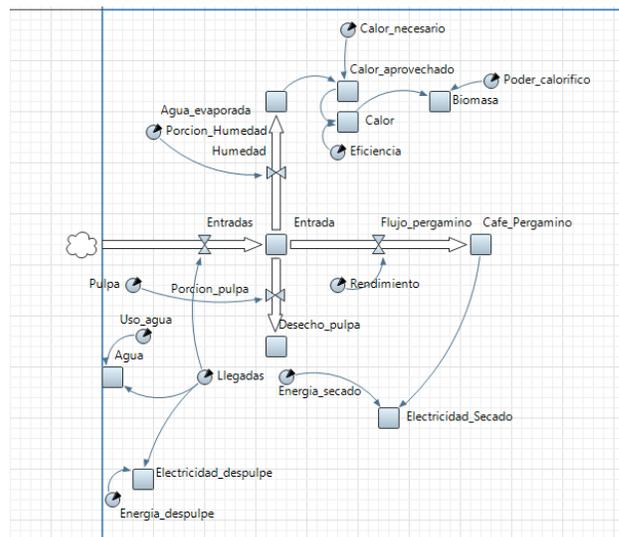


FIGURA 5. MODELO SISTÉMICO DEL PROCESO.

7.- Verificación y validación del modelo. Para la etapa de validación del modelo, se realizó la prueba estadística de t-pareada mediante una muestra de 7 procesos, debido a que es toda la información disponible hasta el momento. La prueba se

llevó a cabo sobre las variables de salida de interés del modelo, para los cuales se calcularon sus intervalos de confianza a un nivel del 99%. La Tabla 4 muestra los cálculos realizados para la validación.

Tabla 4. VALIDACIÓN DEL MODELO

Materia prima	$Z-t_{6,(1-0.99)/2}$	$Z+t_{6,(1-0.99)/2}$
<b>Biomasa (kg)</b>	-2642.8	2418.45
<b>Elect. Secado (Kwh)</b>	-2.06	3.47
<b>Elect. Despulpe (Kwh)</b>	-0.007	0.002
<b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>	-1.93	2.26

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestran los intervalos de confianza de la prueba para cada parámetro, y de estos se puede concluir que el modelo es válido, debido a que todos los intervalos de confianza incluyen al cero, es decir, el modelo cumple con las características deseadas poniendo en evidencia que se comporta de manera semejante al proceso real, comparando los valores de salida del sistema real con los valores de salida del modelo. Que los intervalos de confianza de los parámetros incluyan al cero, significa que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores reales y los valores obtenidos por el modelo.

8.- Experimentación de alternativas. Para la experimentación de las alternativas, los escenarios fueron propuestos por los encargados de proceso, basándose en la experiencia de ciclos de cosecha anteriores. Estos escenarios se muestran en la Tabla 5, los cuales nos permitirán observar el efecto sobre las variables de entrada del sistema mencionadas en párrafos anteriores.

Tabla 5. ESCENARIOS PROPUESTOS PARA EL ESTUDIO

Escenario	Rendimiento	Eficiencia	Llegadas de cereza
<b>Normal</b>	0.210	0.017	6500
<b>Rendimiento alto</b>	0.234	0.017	6500
<b>Rendimiento bajo</b>	0.189	0.017	6500
<b>Eficiencia alta</b>	0.210	0.02	6500
<b>Eficiencia baja</b>	0.210	0.015	6500
<b>Bajas llegadas</b>	0.210	0.017	5000

Fuente: Elaboración propia.

9.-Análisis de las diferentes soluciones. El análisis de los resultados se describe en el apartado siguiente.

## VI. RESULTADOS

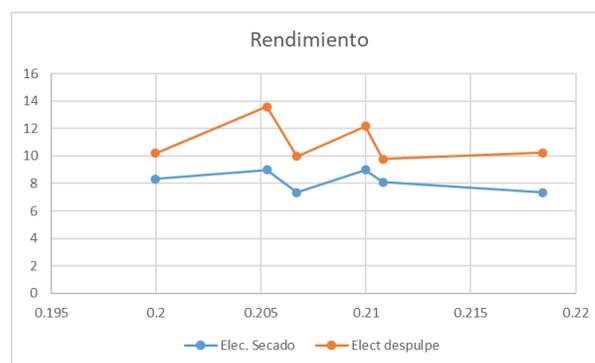
Los resultados arrojados por cada uno de los escenarios en cuanto al consumo de electricidad están concentrados en la Tabla 6.

Tabla 6. CONSUMOS DE ENERGÍA EN LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

Escenario	Electricidad por despulpado (Kwh)	Electricidad por secado (Kwh)	Electricidad Total (Kwh)
<b>Normal</b>	9.75	7.01	16.76
<b>Rendimiento alto</b>	9.75	6.309	16,05
<b>Rendimiento bajo</b>	9.75	7.811	17.56
<b>Eficiencia alta</b>	9.75	7.01	16.76
<b>Eficiencia baja</b>	9.75	7.01	16.76
<b>Bajas entradas</b>	7.5	4.18	11.68

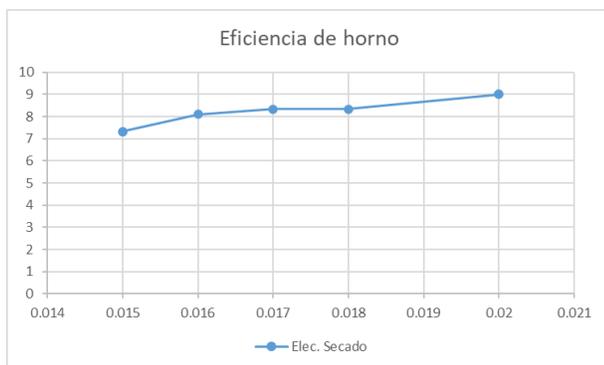
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se puede observar que el consumo de energía eléctrica se ve afectado cuando los rendimientos son bajos, ya que, como se mencionó en un inicio, el grano posee menor cantidad de agua lo que hace que el proceso de secado sea más tardado, haciendo que trabaje más tiempo la maquinaria. En la Gráfica 1 se puede identificar el comportamiento real, en ella se clarifica un aumento en los consumos de energía al alza de los rendimientos bajos.



Gráfica 1 ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA EN RAZÓN DEL RENDIMIENTO.

Mientras que la eficiencia del horno mostrada en la Gráfica 2 del secado hace que, mediante un aprovechamiento mejor, la utilización de la maquinaria se reduce, logrando consumos menores de energía, anqué no de manera tan significativa como ocurre con el rendimiento.



GRAFICA 2 CONSUMO DE ENERGÍA EN SECADO EN RAZÓN DE LA EFICIENCIA DEL HORNO.

Por último, la Tabla 7 indica que el rendimiento alto hace que el consumo de energía total aumente significativamente reduciendo el consumo de biomasa y el tiempo de secado debido a que la máquina secadora evapora menor cantidad de humedad de los granos de café. Los rendimientos bajos reducen la cantidad de electricidad, pero aumentan los tiempos de secado y con ello el consumo de biomasa.

En cuanto al consumo de agua, no es significativo el tipo de escenario a menos que las llegadas de café sean modificadas.

TABLA 7. CONSUMOS DE MATERIAS PRIMAS EN LOS DIVERSOS ESCENARIOS.

Escenario	Electricidad (KwH)	Biomasa consumida (kg)	Agua consumida(m <sup>3</sup> )
Normal	16.76	2002.57	13.57
Rendimiento alto	17.56	1879.33	13.57
Rendimiento bajo	16,05	2170.93	13.57
Eficiencia alta	16.76	1751.11	13.57
Eficiencia baja	16.76	2334.58	13.57
Bajas entradas	11.68	721.26	10.44

Fuente: Elaboración propia.

La fluctuación en la eficiencia del horno únicamente afecta a la cantidad de biomasa usada. Esto debido a que el aprovechamiento del horno depende en cierta manera de variables externas.

Las entradas a su vez juegan un papel importante para la cuantificación de las materias requeridas para el proceso, siendo uno de los parámetros importantes de este estudio, aunque su análisis se basa en que, a mayor entrada, mayor cantidad de materia prima es necesaria para el proceso y viceversa.

Con el análisis anterior se concluye que el parámetro que genera mayor impacto en todo el proceso descrito es el rendimiento, haciendo que los consumos fluctúen significativamente.

## VII.CONCLUSIONES

Como conclusión, el presente proyecto demuestra cómo el proceso de beneficiado húmedo es afectado por del rendimiento del café cereza. Esto a su vez puede propiciar que se genere un efecto látigo a toda la cadena productiva del café.

El uso de las materias primas es esencial para el desarrollo de las actividades productivas de una empresa, por lo que lograr cuantificar sus flujos y consumos resulta altamente conveniente para el desarrollo adecuado del proceso.

El uso de agentes para resolver problemas asociados a cadenas de suministro toma gran importancia, ya que con ellos se logra una gran versatilidad de análisis en varias partes del proceso, pudiendo adaptarse a cambios en el entorno que ayudan a identificar áreas de oportunidad de mejora.

## VIII. REFERENCIAS

- [1]Puche Forte, J. (2005). *Guía práctica para la simulación de procesos industriales*. Murcia: Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia
- [2] Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena-Gómez, G. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos - Cenicafé*.
- [3] Coca Bergolla, Y. (2009). Agentes Inteligentes. Aplicacion a la realidad virtual. *Revista Cubana de Ciencias Informaticas* Vol. 3, 49-54.
- [4] Torres-Sanchez, G., Prado Vázquez, V., & Rivera Espinoza, M. (2010). *ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR CON DOS*. Torreón: Revista Mexicana de Agronegocios.
- [5] López-Cruz, I., Rojano-Aguilar, A., Salazar-Moreno, R., & López-López, R. (2014). *Análisis de sensibilidad global del modelo de cultivos sucros aplicado a tomate de cáscara*. Huimanguillo-Cárdenas: Postgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.
- [6] Silva Silva, L. (2016). *MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ANALISIS DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ EN COLOMBIA*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- [7] Liang, H., Qi, Z., C. Djonge, K., Hu, K., & Li, B. (2017). Global sensitivity and uncertainty analysis of nitrate leaching and crop yield simulation under different water and nitrogen management practices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201-210.
- [8] Giraldo Quintero, J., Niño Méndez, C., & Vianchá Sánchez, Z. (2017). *Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá* (Vol. 13). (Cundinamarca, Colombia): Ingeniería Solidaria. doi:doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v13i22.1839>
- [9] Golzar, F., Heeren, N., Hellweg, S., & Roshandel, R. (2018). A novel integrated framework to evaluate greenhouse energy demand and

crop yield production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 487-501.

- [10] Liu, D., K. Mishra, A., & K. Ray, D. (2020). Sensitivity of global major crop yields to climate variables: A non-parametric elasticity analysis. *Science of The Total Environment*.
- [11] Magalhaes Junior, A. I., de Carvalho Neto, D. P., Melo Pereira, G. V., da Silva Vale, A., Coral Medina, J. D., de Carvalho, J. C., & Soccol, C. R. (2021). A critical techno-economic analysis of coffee processing utilizing a modern fermentation system: Implications for specialty coffee production. *Food and Bioproducts Processing*, 14-21.
- [12] Yang, M., Wang, G., Lazin, R., Shen, X., & Anagnostou, E. (2021). Impact of planting time soil moisture on cereal crop yield in the Upper Blue Nile Basin: A novel insight towards agricultural water management. *Agricultural Water Management*.
- [13] Ramos-Hernández, R., Sánchez-Ramírez, C., Mota-López, D. R., Sandoval-Salas, F., & García-Alcaraz, J. L. (2021). Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp through System Dynamics. *Renewable Energy*, 863-877.
- [14] eFXto Forex. (s.f.). *Análisis de Sensibilidad*. Obtenido de eFXto Forex: <https://efxto.com/diccionario/analisis-de-sensibilidad>
- [15] Figueroa-Hernández, E., Pérez-Soto, F., & Godínez-Montoya, L. (s.f.). *La producción y consumo del café*. ECORFAN.
- [16] Aplicación a la realidad virtual. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* Vol. 3, 49-54.



# **Implementación de LEAN-KAIZEN para el análisis de fallas en la producción de persianas de aluminio: un caso de estudio**

Juan Carlos Torres, Iván Garza Greaves,  
Ricardo Daniel López García, Pedro Henoc Ireta Sánche,  
Araceli Maldonado Reyes.

# IMPLEMENTACIÓN DE LEAN-KAIZEN PARA EL ANÁLISIS DE FALLAS EN LA PRODUCCIÓN DE PERSIANAS DE ALUMINIO: UN CASO DE ESTUDIO

Juan Carlos Torres  
Instituto Tecnológico de Ciudad  
Tamaulipas, México  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.  
[jcarlostorres552@gmail.com](mailto:jcarlostorres552@gmail.com)

Iván Garza Greaves  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.  
Tamaulipas, México  
[garza8001@gmail.com](mailto:garza8001@gmail.com)

Ricardo Daniel López García  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.  
Tamaulipas, México.  
[ricardo.lg@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:ricardo.lg@cdvictoria.tecnm.mx)

Pedro Henoc Ireta Sánchez  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria  
Tamaulipas, México.  
[pireta2976@gmail.com](mailto:pireta2976@gmail.com)

Araceli Maldonado Reyes  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.  
Tamaulipas, México.  
[araceli.mr@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:araceli.mr@cdvictoria.tecnm.mx)

**Resumen.** La calidad en los productos y la optimización de los procesos industriales son las principales prioridades para el crecimiento económico de una empresa. Por lo tanto, y debido a los entornos económicos que fluctúan periódicamente, las compañías a nivel mundial se enfrentan a grandes desafíos para posicionarse en los mercados internacionales con una alta competitividad. En el presente trabajo, se realizó un estudio en las diferentes áreas de producción de una empresa en la fabricación de persianas de aluminio, con la finalidad de determinar las causas principales que generaban un alto volumen de desperdicio y el proceso productivo que lo ocasionaba. Después de analizar el entorno global de producción durante 2 meses, se localizó el área que presentaba mayor desperdicio y se implementó la herramienta Lean-Kaizen para evaluar e identificar las áreas de oportunidad en el proceso y disminuir el desperdicio en producción. Mediante lluvia de ideas se elaboró un diagrama causa-efecto, identificando las variables principales que afectaban el proceso. A partir de los resultados obtenidos, se realizaron ajustes en el proceso identificado, y nuevamente se evaluó el proceso y se midió el nivel de desperdicio. Finalmente se identificaron los modos de falla más frecuentes y se realizaron acciones preventivas y de control, con lo que se redujo el desperdicio en un 30% en la fabricación de persianas, incrementando el margen de utilidad de la compañía.

**Palabras Clave:** Kaizen, Lean-Manufacturing, reducción de desperdicio, herramientas de calidad.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las industrias manufactureras a nivel mundial, se enfrentan a constantes desafíos para cumplir con los requerimientos de sus clientes tales como entregas a tiempo, mejoramiento de la calidad

y un menor costo de los productos. Por lo tanto, para cumplir con lo antes mencionado, las compañías se ven en la necesidad de adoptar herramientas, tecnologías, principios y metodologías Lean que les permitan identificar oportunidades de mejoras en las diferentes áreas de sus compañías, e implementar programas que incidan de manera directa en la reducción del costo final del producto, la eliminación de desperdicio, la disminución de los tiempos de entrega, la reducción de inventarios, y que mejoren la calidad de los productos [1-2].

Lean Manufacturing es una herramienta ampliamente utilizada en las industrias manufactureras, debido a su efectividad para reducir los costos de los procesos productivos [3-5]. El pensamiento Lean es una filosofía cuyo objetivo principal radica en fabricar un producto con el mínimo de desperdicio, además de reorganizar los sistemas de producción enfocados en alcanzar la mejora continua e incrementar el margen de ganancia de las compañías [6]. Las prácticas Lean se han agrupado en seis áreas definidas como, procesos y equipos, fabricación, planeación y control, recursos humanos, diseño de productos, y relación con proveedores y clientes.

El concepto Lean fue acuñado por Toyota Production System (TPS) que define el valor de un

proceso al distinguir las actividades de valor agregado y eliminar el desperdicio, para que cada paso en el proceso agregue valor al producto final [7]. El desperdicio se etiqueta como cualquier actividad, material o uso de equipo que no añada valor agregado al producto final tales como; desperdicio de sobreproducción, tiempo de espera, movimientos innecesarios, desperdicio de transporte, residuos de procesamientos, desperdicios de inventarios y productos defectuosos [8].

Un gran número de empresas a nivel mundial han adoptado la filosofía Lean Manufacturing con el objetivo principal de eliminar el desperdicio, mejorar los procesos productivos, fabricar con cero defectos y alcanzar la mejora continua. La mayoría de los trabajos publicados coinciden en que los principales factores para el éxito de LM son el compromiso de la dirección y la participación de los empleados [9]. Para lograr una cultura que beneficie a las organizaciones a largo plazo, deben enfocar sus esfuerzos en desarrollar en sus empleados una cultura de valores e identidad con la compañía, además de habilidades y conocimiento en la filosofía adoptada.

En las últimas 2 décadas varios investigadores han reportado un número importante de casos de éxito de empresas manufactureras alrededor del mundo, lo anterior después de la implementación de herramientas Lean Manufacturing en sus procesos productivos [10]. Bhuiyan et. al., demostraron que implementar un programa de mejora continua contribuye en la eliminación de desperdicio en el proceso de producción y mejora la calidad de los productos [11]. Dahlgaard-Park et. al., encontraron que la aplicación de técnicas tales como 5S, talleres de Gemba, Kaizen y mapeo de procesos, los cuales están relacionadas con Lean-Kaizen, tienen un efecto positivo en los procesos y sistemas de gestión [12]. Así mismo, Suarez et. al., en su trabajo de investigación, afirman que estas técnicas mejoraron los procesos y la calidad de los servicios públicos [13]. Mientras que Nawanir et. al., señalan en su investigación que Lean Manufacturing es una herramienta eficaz para mejorar el desempeño de los procesos, minimizar los inventarios, tiempos de entrega, mejorar la productividad y reducir los costos [14]. Recientemente, Arya y Choudhary,

encontraron que la implementación de la filosofía Lean mejoran en gran medida la eficiencia de los sistemas de producción y por consecuencia la calidad del producto [15]. Por su parte, Karin y Arif-Uz-Zaman, proponen una metodología capaz de identificar de una manera sistemática los desperdicios generados en un proceso de producción, seleccionar las herramientas Lean más apropiadas, y mejorar el desempeño dentro de la organización [16].

Es un hecho, que la implementación de Lean Manufacturing ha impulsado a las industrias a nivel mundial a ser más competitivas, a tener mayor presencia en los mercados internacionales y generar mayores ingresos. Herramientas como, Kaizen, 5S, Poka Yoke, Kanban, JIT, TPM entre otras, han demostrado ser recomendables en la implementación de Lean Manufacturing para distintos tipos de organizaciones. Todas estas herramientas representan un aspecto fundamental en sus respectivos ambientes productivos; sin embargo, es importante señalar que las prácticas y herramientas Lean deben adoptarse cuidadosa y detalladamente para cada tipo de organización, que garantice una mejora continua con un alto impacto en su ámbito de negocio [17-18].

Por otro lado, la metodología Lean-Kaizen es un concepto recientemente adoptado por un número importante de compañías, y su objetivo radica en lograr una excelencia en la calidad, costos y tiempos de entrega, involucrando a cada uno de los participantes de la organización. Lean-Kaizen se compone de dos palabras Lean que significa eliminar actividades sin valor agregado, y Kaizen que significa mejora continua y forma parte de LM, la palabra unida podría traducirse como eliminación continua de desechos mediante pequeñas mejoras [19].

Aunque Kaizen se enfoca principalmente en pequeñas mejoras, estas se realizan de forma continua y debe involucrar a todos los integrantes de una organización y el compromiso para identificar y resolver problemas en sus áreas de trabajo. Por lo tanto, el compromiso de la alta dirección debe contar con una clara estrategia para alcanzar los objetivos de la compañía. Lo anterior ha permitido que las personas involucradas en la implementación de la metodología Kaizen se

acoplen rápidamente a los cambios, y que estos sean parte de sus actividades cotidianas. Las primeras investigaciones relacionadas con Kaizen fueron las reportadas por Imai (1986), quien describió el concepto, sus valores y principios, y su relación con otras metodologías utilizadas en los procesos de mejora [20]. A partir de la fecha, un número significativo de trabajos de investigación en diversas áreas alrededor del mundo, han implementado la metodología Kaizen, los resultados encontrados han sido confiables y satisfactorios, además de gran impacto para las organizaciones [21-27].

De acuerdo a Imai [20], existen tres pilares fundamentales en la implementación de la metodología Kaizen; la limpieza, la estandarización y la eliminación de desperdicio.

El presente trabajo de investigación, presenta un caso de estudio de la implementación de la filosofía Lean-Kaizen en una empresa dedicada a la fabricación de persianas de aluminio. El estudio se enfoca en reducir los niveles de desperdicio en un área de producción definida como conformado mecánico. Para la implementación de la metodología Lean-Kaizen se decidió utilizar herramientas y técnicas adecuadas tales como; inspección visual, lluvia de ideas, 5 porque, diagrama de Ishikawa y diagrama de Pareto. Los resultados demostraron que la implementación de Lean-Kaizen no solo disminuyó el porcentaje de desperdicio en un 30%, sino que ha puesto en evidencia áreas de oportunidad, tal como mejorar los tiempos muertos en maquinaria y equipo, en el camino de la mejora continua, demostrando la eficacia de la metodología Lean-Kaizen.

## II. ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO

El presente caso de estudio, se enfocó en la implementación de la filosofía Lean-Kaizen para disminuir el alto volumen de desperdicio de tablillas de aluminio utilizadas en la fabricación de persianas de tipo horizontal y venecianas. La empresa objeto de estudio, se encuentra ubicada en el noroeste de México donde lleva más de 15 años operando en el sector de manufactura de persianas, cuenta con más de 300 empleados en dos turnos de producción, y

tiene presencia a nivel nacional e internacional con una amplia cartera de clientes mayoristas. Las persianas son diseñadas con la finalidad de evitar que pase la luz solar y mejorar los espacios cerrados. Las materias primas utilizadas en su proceso son principalmente: rollos de aluminio, perfiles de aluminio y acero, cordones y marcos de aluminio, ver Figura 1.

La primera etapa en la implementación de la metodología Lean-Kaizen fue el diagnóstico, donde el objetivo se enfocó en inspeccionar por áreas del proceso de producción la principal causa de la generación de desperdicio. El proceso de producción de persianas se encuentra dividido en tres áreas tal y como se muestra en el diagrama de flujo de planta, ver Figura 2.

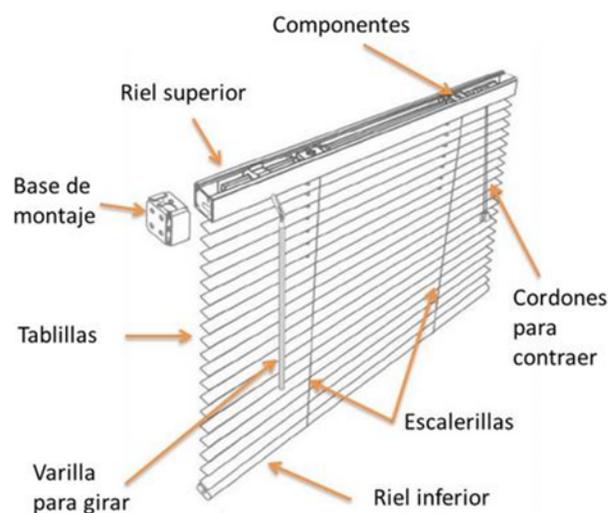


Figura 1.- Componentes de una persiana de aluminio tipo veneciana.

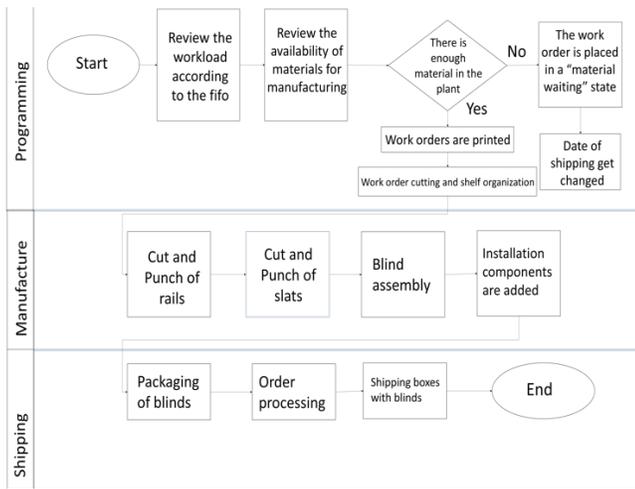


Figura 2.- Diagrama de flujo de planta

Una vez concluido el diagnostico se identificó que el área conocida como “proceso de corte de tablillas de aluminio” presentaba un mayor volumen de desperdicio, superior al 50% de lo producido que el resto de las áreas. En esta área del proceso se lleva a cabo el corte de tiras de aluminio, para posteriormente realizar el formado de las tablillas de aluminio las cuales componen el cuerpo principal de las persianas. Durante el formado mecánico, estas tablillas pasan a través de rodillos de alimentación, donde primeramente son alineadas, posteriormente pasan por unos rodillos de laminación donde se aplica una fuerza en dirección vertical a la dirección del flujo del material para formarle la geometría cóncava requerida. Cabe señalar, que en este último paso del proceso de formado se presentaba un número elevado de desperdicio de tablillas de aluminio, generado por la presencia de altas deformaciones plásticas. Este material (tablillas de aluminio) es suministrado a la empresa en rollos por 3 proveedores nacionales e internacionales, y todos presentaban algún tipo de deformación durante el formado mecánico. Se observó que el desperdicio de tablillas de aluminio era ocasionado principalmente por errores en los ajustes de la presión (fuerza) que deben ejercer los rodillos sobre las tablillas. La presión ejercida es de la misma magnitud para los 3 proveedores, asumiendo que poseen las mismas propiedades físicas y mecánicas.

Se observó, que el alto volumen de desperdicio se presentaba en mayor medida en cada cambio de rollo de material, el porcentaje de desperdicio registrado era superior del 50% representando un costo elevado para la empresa.

Debido a lo anterior, se realizó un estudio de caso para analizar los fenómenos presentes en las deformaciones de las tablillas de aluminio utilizadas en la fabricación de persianas, que generaban un alto volumen de desperdicio en la línea de producción conocida como formado mecánico.

La orientación del trabajo se enfocó en la implementación de la metodología Lean-Kaizen utilizando diferentes herramientas de calidad, y analizando en forma detallada el proceso para diagnosticar las causas de los problemas y proponer soluciones de mejora que impacten en la disminución o eliminación del desperdicio.

### III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Los datos para la investigación fueron recopilados de las cinco áreas del proceso de producción en la manufactura de persianas de aluminio, a través de inspección visual durante un periodo de 30 días. Las variables que se consideraron fueron: el número de trabajadores por turno, la cantidad de producción por turno y por máquina de corte, y la cantidad de desperdicio generada por máquina de corte.

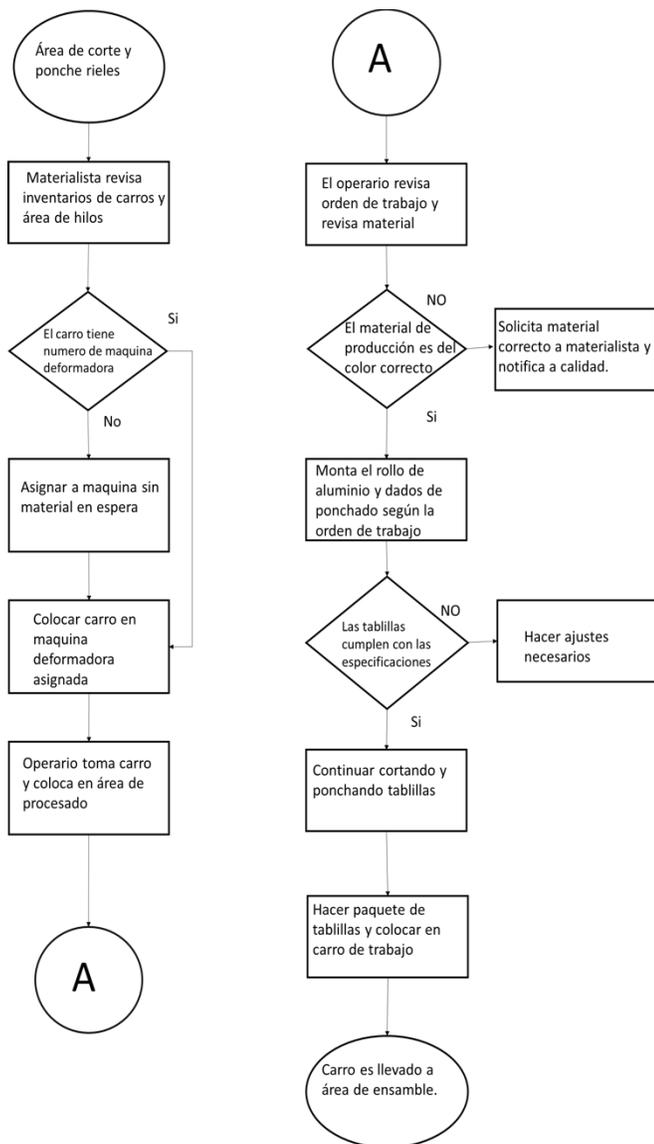


Figura 3.- Diagrama de flujo área de corte y ponchado

Posterior al diagnóstico se reunieron personal de la empresa que incluyeron, gerentes de procesos, producción, mantenimiento y calidad para determinar la planificación del sistema. El grupo analizó los resultados del diagnóstico de Lean-Kaizen y se definieron las metas a alcanzar estableciendo un límite de desperdicio por línea de producción de 6 libras por máquina/día de desperdicio. El análisis de la observación tuvo una duración de 2 meses, el de diagnóstico y puesta en marcha de 1 mes y la evaluación de los resultados de 6 meses.

Para el desarrollo experimental, primero se utilizó un diagrama de Pareto utilizado para registrar las pérdidas por desperdicio por área inspeccionada, en ambos turnos de la empresa, en total se inspeccionaron 5 áreas del proceso, enfocándose en el área de corte y ponchado el cual presentó el mayor volumen de desperdicio, el diagrama de flujo se presenta en la Figura 3.

Para identificar las causas directas relacionadas con el desperdicio de tablillas de aluminio, se utilizó el diagrama de Ishikawa, permitiendo involucrar el conocimiento y experiencia de los empleados en el proceso de “corte de tablillas” mediante lluvia de ideas y reconocer las variables que potencialmente están involucradas en la generación de desperdicio de tablillas de aluminio. También se utilizó la técnica de los 5 porque, con la finalidad de establecer una relación entre la causa y el efecto para el problema analizado.

#### IV. RESULTADOS

Durante el periodo de observación se logró identificar un problema en la sobreproducción de desperdicio en el área de corte y ponchado siendo este muy evidente al finalizar los turnos laborales y presentar los depósitos de desperdicio llenos de tablillas de aluminio. Para tener una mejor idea de la naturaleza del origen de la falla se procedió a realizar la técnica de los 5 porque, apoyados por un entrenador y 5 operadores con más de un año en el puesto, los resultados fueron los siguientes.

- 1) Por qué: ¿se produce mucho desperdicio?
  - las tablillas que conforman la persiana no cumplen las especificaciones
- 2) Por qué: ¿las tablillas no cumplen las especificaciones
  - Por qué tienden a presentar una forma errónea que impide el funcionamiento de la persiana.
- 3) Por qué: ¿las tablillas tienen una forma errónea?
  - La presión de los rodillos de deformación es incorrecta.
- 4) Por qué: ¿la presión de los rodillos es incorrecta?

- El ajuste de las perillas de mando es manual y depende de la habilidad manual del operador.

5) Por qué: ¿las perillas de mando dependen de la habilidad manual del operador?

- Carecen de un indicador que demuestre la presión exacta provocando errores en el proceso.

Partiendo del resultado obtenido por el ejercicio de los 5 porqué, se decidió analizar los resultados de la producción del área de corte y ponchado, para observar el estado real de las pérdidas que ocasiona la dificultad de realizar los ajustes manualmente. Utilizando el sistema interno de la fábrica se obtuvieron los datos de manera anual del desperdicio producido por el área de corte y ponchado los cuales se muestran en la Tabla 1.

Numero de maquina	Libras desperdiciadas Turno 1	Libras desperdiciadas Turno 2
Maquina 1	17,715.34	20,048.14
Maquina 2	17,721.54	18,170.04
Maquina 3	17,726.94	18,537.04
Maquina 4	17,724.94	17,679.24
Maquina 5	17,558.74	17,679.74
Maquina 6	17,570.44	18,165.54
Maquina 7	17,563.64	17,668.04
Maquina 8	17,893.64	18,715.84
Maquina 9	17,706.04	17,619.64
Maquina 10	17,702.24	17,620.24
Maquina 11	17,698.64	17,845.04
Maquina 12	17,885.64	17,857.24
Maquina 13	18,557.64	17,676.64
Maquina 14	17,701.64	17,670.24
Maquina 15	17,705.04	17,669.64
Total	266,432.1	270,622.3

Tabla 1. Desperdicio anual producido por el área de corte y ponchado.

En la tabla 1, se muestran el desperdicio anual medido en libras por máquina, para el turno 1, donde se produjeron 266,432.1 libras mientras que en el turno 2 que corresponde al turno nocturno se produjeron 270,622.3 libras de desperdicio, lo cual arroja un desperdicio acumulado en peso de 537,054.4 libras anuales, para esto la empresa tiene cotizado un valor de \$2.47 dólares por libra de

desperdicio, lo que resulta en una pérdida de \$1,326,524.368 dólares anuales.

Después de obtener las métricas de desperdicio, se procedió a observar la producción de persianas producidas sin ensamblar salidas del área de corte y ponchado, en la Tabla 2, se pueden observar a detalle la producción de persianas anual.

Máquina	Turno 1 matutino	Turno 2 nocturno
1	520,977	521,268
2	520,965	521,310
3	520,913	521,309
4	520,852	521,397
5	520,816	521,387
6	520,873	521,403
7	520,888	521,360
8	516,603	487,793
9	520,952	521,323
10	520,964	521,319
11	520,983	521,275
12	453,476	455,587
13	519,039	521,401
14	521,071	521,416
15	521,087	521,358
Total	7,740,459	7,720,906

Tabla 2. Producción de persianas anual

De manera general se podría observar un proceso estandarizado, donde los equipos analizados producen cantidades iguales de persianas por turnos. Sin embargo, al comparar los valores máximos y mínimos en la producción de persianas se observan diferencias marcadas por equipo/turno de producción, como se muestra en la Figura 4.

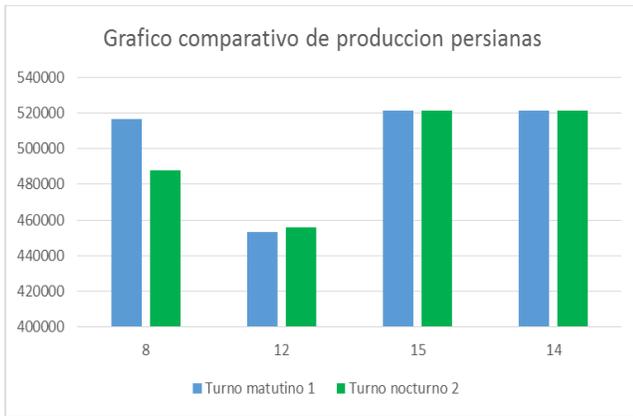


Figura 4. Comparativo de productores de persianas.

Row Labels	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	Grand Tot
ajuste corona																0
alimentador																0
alineacion	56	229	179	16	26	135	124	30	399	104	23	139	329	296	45	2130
calibracion				30												30
cambio de seguro														15		15
clutch payoff			24													24
Estacion sani 3500																0
freno payoff															20	20
Freno Treading			15													15
guia dañada								74								74
limpieza de rodillos												30				30
magazines	72	13	90	16	205				30	35	110	15	78	45		709
material no ajusta														47		47
navaja	29	24	96	67	112				25	30	10	68		85		546
pantalla PLC				30												30
payoff			46				200				16			10		272
ponchador			42		25	70	79	23	3							242
programa					15	15	30		70	10						140
rodillo alimentador									15							15
rodillo payoff	10		60	80	40	20	57	45	140					60		512
sensor																0
sin datos				25												25
switch		11														11
<b>Grand Total</b>	<b>66</b>	<b>341</b>	<b>301</b>	<b>334</b>	<b>97</b>	<b>282</b>	<b>521</b>	<b>265</b>	<b>630</b>	<b>298</b>	<b>321</b>	<b>285</b>	<b>460</b>	<b>421</b>	<b>265</b>	<b>4887</b>

Figura 5. Tabla tiempos muertos

En la Figura 4, se muestra el comparativo en la producción de persianas por equipo/turno, lo anterior con el fin de conocer la diferencia entre ambos turnos, la máxima producción fue de poco más de 520,000 persianas en un año, el equipo identificado como # 12 del turno matutino fue el que presentó la producción más baja cercana a 453,0000

persianas, esto representa una diferencia del 14.79%, lo cual está por encima del 5% de diferencia que se considera aceptable para una línea de producción estandarizada.

Teniendo los datos del desperdicio y la producción de persianas, se analizaron los tiempos muertos de producción en los equipos de conformado mecánico que se produjeron durante 32 días. Los resultados son mostrados en la Figura 5, y se puede observar que durante este tiempo se acumuló un total de 4,887 minutos de tiempo muerto en las máquinas por diferentes tipos de fallas, siendo la falla de rodillos desalineados la más recurrente con 2,130 minutos acumulados.

En la Figura 6, se representa mediante un diagrama de Pareto las principales fallas presentes en los equipos de formado mecánico demostrando que la alineación (de los rodillos) es la falla más recurrente y por lo tanto el principal problema a solucionar.

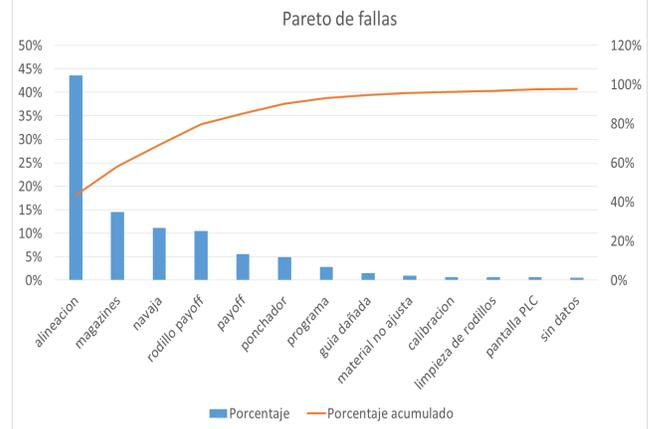


Figura 6. Diagrama de Pareto de fallas

Definido la problemática presente en las métricas de operación de formado en el área de corte y ponchado se procede a realizar un diagrama de Ishikawa, ver Figura 7, lo anterior con la finalidad de determinar si existen otros factores que están incidiendo en la acumulación de fallas en los equipos de formado y enfocar los recursos en solucionar los problemas.

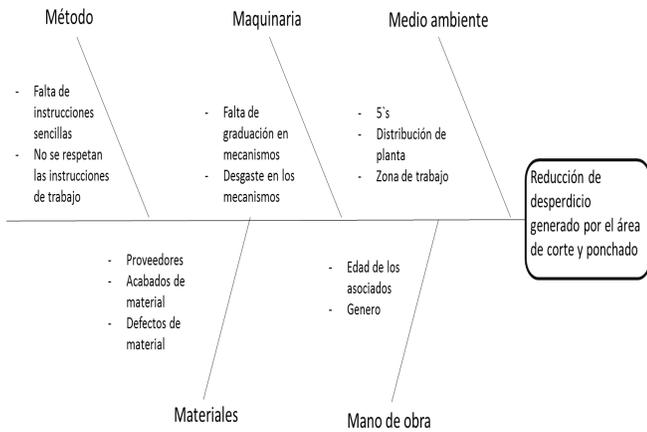


Figura 7. Diagrama de Ishikawa

Posterior a la revisión completa de cada uno de los puntos que están plasmados en el diagrama, involucrando a los principales actores de las respectivas áreas, se puede concluir que el problema radica más específicamente en problemas de la maquinaria, por lo que posteriormente se convocó a una reunión con los jefes de manteniendo para implementar la técnica de lluvia de ideas con la finalidad de encontrar una solución.

La solución encontrada por el personal de mantenimiento, calidad y producción de la empresa, fue colocar medidores de presión de tipo caratula en los mecanismos de las máquinas deformadoras de las tablillas de aluminio, con el propósito de que el personal operativo tenga una referencia visual de la presión ejercida por los rodillos al material y tomar las acciones pertinentes en cualquier momento para su modificación. Después de este análisis, se diseñó e instalo un prototipo en un equipo de formado mecánico con la finalidad de ser evaluado por un periodo de tiempo definido.

La puesta en marcha del prototipo se realizó en cuatro etapas; a) se realizaron las mediciones en los mecanismos (levas) donde van montados los medidores de caratula que se serán los encargados de registrar el recorrido de las levas y mediante un sistema de medición, medir el recorrido a los operarios, b) con la medición de los recorridos se diseñaron los montajes donde se instalarán los medidores de caratula, en la Figura 8 se puede

observar una ilustración en el diseño de los montajes, c) con los diseños de los montajes avalados por los departamentos de mantenimiento, calidad y producción, estos fueron manufacturados en la misma empresa, para ello se utilizaron laminas de acero galvanizado de 4 mm de espesor y varillas de 20 mm x 10 mm, d) una vez fabricados se instalaron en las maquinas de conformado mecánico de pruebas con la finalidad de no interferir en la produccion diaria y poder realizar los ajustes necesarios hasta definir las óptimas condiciones.

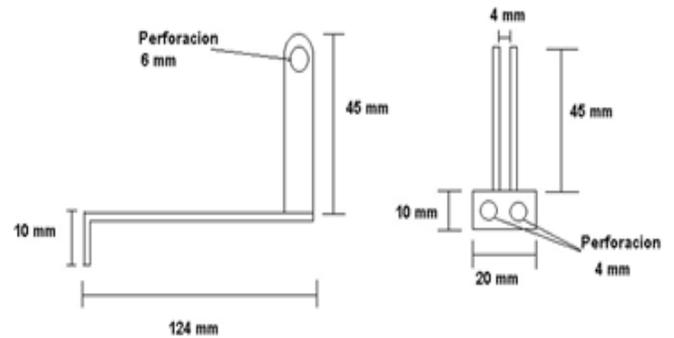


Figura 8. Diseño de los equipos de medición.

El uso de medidores en la máquinas de conformado mecánico implicaría un costo de \$ 117.36 dolares por maquina, lo cual representa una inversión en los 16 equipos por un total de \$ 1,877.16 dolares, que al compararse con los \$ 45,642.60 dolares generados por el tiempo muerto por fallas en las alineaciones de los rodillos que implicaría no instalar estos medidores, estan claros los beneficios que se obtendrían, y la ventaja competitiva para la empresa.

## V. CONCLUSIONES

Una línea de producción con problemas de estandarización como lo es la línea de corte y punchado de persianas de una pulgada de aluminio es capaz de ser controlada mediante las metodologías Lean-Manufacturing aplicando Kaizen, el cual utilizando las métricas de la línea de producción permite tener un panorama de la maquinaria involucrada y definir los puntos débiles de sus diseños que necesitan ser reforzados con

alternativas de mejoras que sea amigable en la interacción operador-máquina de trabajo.

La implementación de ayudas visuales sugerida después de la implementación de la metodología kaizen, permitirán no solo ofrecer una interacción más sencilla con el operario de la máquina deformadora sino también conocer el estado de los rodillos deformadores de aluminio y realizar un esquema de manteniendo antes de presentarse las fallas que ocasionan perdidas del material que han provocado que las utilidades y competitividad de la empresa sean mantenidas ante un mercado global cada vez mas competitivo.

Cabe mencionar que actualmente se tienen resultados preliminares de la implementación de los medidores de caratula implementados en las máquinas de conformado mecánico, y se puede mencionar de manera contundente que los resultados actuales muestran una disminución importante en el volumen de desperdicio de tablillas de aluminio después de utilizar los medidores como ayudas visuales. Desafortunadamente, y a consecuencia de la pandemia covid-19 que se está enfrentando es difícil obtener un comparativo estadístico que, de la situación actual, sin embargo, esto queda como trabajo a futuro, donde se espera demostrar con mayor cantidad de datos los resultados obtenidos.

Los resultados presentados contribuyen a demostrar como las Metodologías de Lean Manufacturing (LM) pueden ser de utilidad para las empresas que presenten diversos problemas en sus líneas de producción tales como: desperdicio de material, tiempos muertos por fallas de maquinaria y producción diaria. Todos esos datos pueden despejar las incognitas de los orígenes de las fallas agilizando el tedioso proceso de búsqueda de fallas.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo brindado por el CONACyT al otorgar la beca al alumno Juan Carlos Torres Cantú para estudiar su maestría en el TECN/Campus Cd. Victoria, así como también al apoyo brindado por el personal de la empresa donde se llevó a cabo la investigación.

## REFERENCIAS

- [1]. Jagdeep Singh, Harwinder Singh. (2012). Continuous improvement approach: State-of-art review and future implications, 88 - 111
- [2]. Vishal Singh Patyal, Maddulety Koilakuntla, (2017). The impact of quality management practices on performance: an empirical study, 511–535.
- [3]. Carlos Ochoa Laburu, Rodolfo de Castro Vila (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 39-52.
- [4]. Jan Olhager, Mattias Hallgren (2009). Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*, 976-999
- [5]. Brian C. Tietje , Clifford S. Barber (2008). A research agenda for value stream mapping the sales process. *Journal of Personal Selling & Sales Management*, 155-165.
- [6]. M.Mohan Prasad, Ganesan Kaliappan (2013). An optimal balancing of multiple assembly line for a batch production unit. *International Journal Lean Think*, 22-32.
- [7]. M. Mohan Prasad, K. Ganesan, K.P. Paranitharan, R. Rajesh (2019). An analytical study of lean implementation measures in pump industries in India. *Int. Journal Enterprise Network Management*, 133-151.
- [8]. Sunil Kumar, Ashwani Dhingra, Bhim Singh (2017). Lean-Kaizen implementation: a roadmap for identifying continuous improvement opportunities in Indian small and médium sized Enterprise. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 143-160.
- [9]. R. Nalamurugan, R. Kirubagharan, C. Ramesh (2020). Implementation of lean tools and techniques in a connecting rod manufacturing industry. *Materials Today Proceedings*, 3108-3113.
- [10]. Antony Pearce, Dirk Pons and Thomas Neitzert (2018). Implementing lean-outcomes from SME case studies. *Operations Research Perspectives*, 94-104.

- [11]. Nadia Bhuiyan, Amit Baghel (2005). An overview of continuous improvement: from the past to the present. *Management Decision*, 761-771.
- [12]. Manuel Francisco Suárez Barraza, Su Mi Dahlgaard-Park, Tricia Smith (2009). Lean-kaizen public service: an empirical approach in Spanish local governments. *The TQM Journal*, 143-167.
- [13]. Manuel F. Suarez-Barraza, Juan Ramis-Pujol (2010). Implementation of Lean-Kaizen in the human resource service process. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 388-410.
- [14]. Gusman Nawanir, Kong Teong Lim, Siti Norezam Othman (2019). Impact of lean practices on operations performance and business performance: Some evidence from Indonesian manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 1019-1050
- [15]. Amit Kumar Arya, Suraj Choudhary (2015). Assessing the application of Kaizen principles in Indian small -scale industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 369-396.
- [16]. Azharul Karim, Kazi Arif-Uz-Zaman, (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, 169-196.
- [17]. Arunagiri, P., Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of high impact lean production tools in automobile industries using weighted average method. *Procedia Engineering*, 2072 – 2080.
- [18]. Halvor Holtskog (2013). Continuous improvement beyond the lean understanding. *Procedia CIRP*, 575-579.
- [19]. Naga Vamsi Krishna Jasti, Rambabu Kodali (2014). A literature review of empirical research methodology in lean manufacturing. *International Journal of Operations & Production Management*, 1080-1122.
- [20]. Masaaki Imai Masaaki Imai (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. New York: McGraw-Hill.
- [21]. Ulrica von Thiele Schwarz, Karina M Nielsen, Terese Stenfors-Hayes, Henna Hasson. (2016). Using kaizen to improve employee well-being: Results from two organizational intervention studies. *human relations*, 1 –2
- [22]. Mohd Ghazali Maarof, Fatimah Mahmud. (2016). A review of contributing factors and challenges in implementing Kaizen in small and médium enterprises. *Procedia Economics and Finance*, 522-531
- [23]. Chantal Baril, Viviane Gascon, Jonathan Miller, Nadine Côté (2016). Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: A case study in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 327-339.
- [24]. Amit Kumar Arya , Suraj Choudhary (2015). Assessing the application of Kaizen principles in Indiansmall-scale industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 369 – 396.
- [25]. Yukichi Mano, John Akoten, Yukata Yoshino, Tetsushi Sonobe (2014). Teaching Kaizen to small business owners: An experiment in a metalworking cluster in Nairobi. *Journal of the Japanese and International Economies*, 25-42.
- [26]. Anupama Prashar (2014). Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: an Indian case. *The TQM Journal*, 475 – 498.
- [27]. Adam Paul Brunet, Steve New (2003). *Kaizen in Japan: an empirical study*. *International Journal of Operations & Production Management*, 1426-1446.

## Glosario de ayuda para director

**Ram:** Área de corte y ponchado de rieles

**Cell traker:** Materialista

Carro: carrito donde se ponen las persianas en partes hasta su empaquetado

**Area Kittyng:** área donde surten los hilos y mecanismos de las persianas

**Sani:** Maquina deformadora en frio que corta, dobla y perfora (poncha) las tablillas de aluminio que forman las persianas

**Tablilla:** son las hojas de aluminio de una pulgada de ancho que forman la persiana

**Sanista:** Es el operador de la maquina Sani

**Coil:** Es el rollo de aluminio que alimenta a las maquinas sani y es la materia prima de que transforman en tablillas

**Área de programación:** es el área donde se hacen las hojas de trabajo según la demanda

**Hojas de trabajo:** son las órdenes de producción según las ventas se organizan por FIFOS primeras entradas y salidas

**Área de manufactura:** Aquí se procesan las materias primas para producir todas las partes de las persianas

**Área de empaque:** en esta área se le ponen todos los embalajes a las persianas ya producidas, según su orden de compra.



## **Efecto de las condiciones del camino en los costos de transporte en tiendas rurales**

Agustín Bustos Rosales, José Alfonso Balbuena Cruz,  
Alma Rosa Zamora Dominguez.

# Efecto de las condiciones del camino en los costos de transporte en tiendas rurales

Agustín Bustos Rosales, José Alfonso Balbuena Cruz, Alma Rosa Zamora Dominguez

Coordinación de Transporte Integrado y Logística

Instituto Mexicano del Transporte, IMT

Querétaro, México

[abustos@imt.mx](mailto:abustos@imt.mx), [balbuena@imt.mx](mailto:balbuena@imt.mx), [azamora@imt.mx](mailto:azamora@imt.mx)

**Resumen:** Este estudio parte de la aplicación de la metodología PIAR para acceso rural a cionesrvicios básicos, previamente aplicada en distintas comunidades del municipio de Amealco, Querétaro con el fin de identificar las necesidades de transporte de las cadenas de suministro cortas que involucran a tiendas locales. Los flujos de las distintas cadenas de suministro cortas tienen gran relevancia en la economía de cualquier región, debido a que están vinculados a sectores relevantes para el desarrollo de las mismas. Por lo tanto, la producción, distribución y transportación de bienes finales a su destino es fundamental para la subsistencia humana en cualquier parte del mundo. Se realizó una revisión de estudios referentes al papel de las tiendas locales encontrando que el 42% de las tiendas del país se encuentran en zonas rurales, donde la falta de cobertura en tecnologías de comunicación hace que sean la forma de comercialización dominante. Se muestra la naturaleza de algunas cadenas locales tomando una comunidad hacia donde se debe llegar desde centros de consumo cercanos. Se enfatiza el papel del costo de operación vehicular como referencia al costo de transporte en que se incurriría debido a la mala calidad de los caminos en las zonas de estudio. Se encontró que las condiciones del camino afectan la accesibilidad a productos necesarios para cubrir las necesidades básicas de alimentación, lo que repercute en el costo de operación vehicular y, consecuentemente, en los precios de los productos básicos a los consumidores.

**Palabras Clave:** Accesibilidad rural; condiciones del camino; costo de operación vehicular; servicios básicos.

## I. INTRODUCCION

Durante los años 2016 a 2018 se aplicó la metodología Planificación Integral del Acceso Rural (PIAR) en 57 comunidades del municipio de Amealco, pertenecientes a distintas microrregiones rurales de bajos ingresos: San Ildefonso Tultepec (con población indígena otomí), Zona norte (con población mestiza), Zona poniente (con población indígena otomí y mestiza) y Santiago Mexquititlán (con población indígena otomí y mestiza) [1,2,3,4]. Estos estudios se enfocaron en definir y priorizar los problemas y necesidades de acceso de los pobladores rurales, hombres y mujeres, hacia los puntos oferentes de los bienes y servicios básicos disponibles, y, con ello generar soluciones factibles que permitan subsanar dichos problemas, aprovechándose al

máximo los recursos disponibles y, en muchas ocasiones, limitados.

Con la metodología de PIAR se busca simultáneamente mejorar el sistema de transporte y la distribución de la infraestructura y los servicios básicos. El objetivo del proceso es –de una manera eficiente en costo – mejorar el acceso a bienes y servicios en las áreas rurales, en particular en comunidades pobres y en desventaja. Esta metodología involucra un conjunto de herramientas de planeación participativa las cuales se basan en las necesidades de acceso de la población rural y busca maximizar el uso de los recursos de los gobiernos local y federal.

Como hallazgos se encontró que los principales problemas de accesibilidad fueron salud y educación. Sin embargo, en comunidades de las microrregiones Norte y Poniente, tuvieron problemas con las condiciones del transporte y del camino, como se observa en la Figura 1.

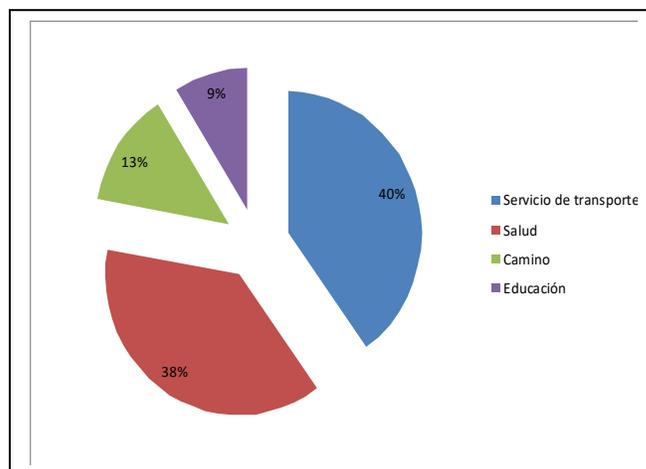


Fig. 1. Jerarquización de los problemas prioritarios por sector o servicio para la zona Norte de Amealco.

Por otra parte, en la micro región de San Ildefonso se identificó además que los problemas de camino y de

transporte repercuten también en cuestiones de accesibilidad a mercados, como se ilustra en la Figura 2.

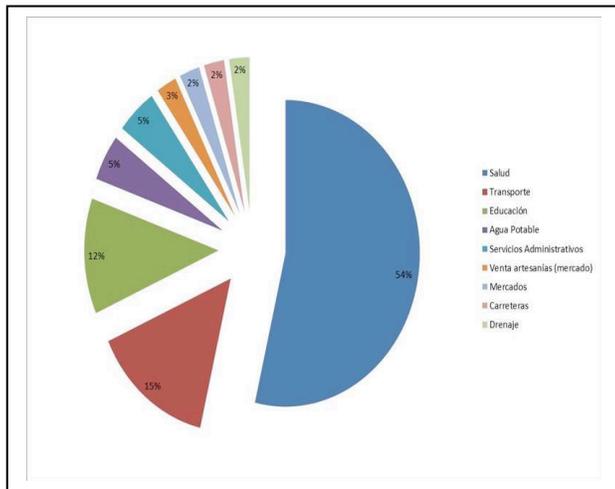


Fig. 2. Jerarquización de los problemas prioritarios por sector o servicio para la zona San Ildefonso, en Amealco.

Los accesos a mercados se ven afectados por las condiciones del camino y de los servicios de transporte, aunque en orden de importancia, impera la necesidad de mejorar los servicios de salud, educación y transporte. En efecto, las familias rurales tienen que dirigirse hacia los mercados locales para obtener aquellos productos que no se consiguen en las tiendas locales generándose los siguientes problemas de acceso a dichos mercados.

En la sección II se habla sobre el contexto del comercio minorista en México, contextualizando el papel de las tiendas locales y la importancia del canal tradicional en el ámbito rural. En la sección III se hacen presentes estudios que muestran experiencias internacionales en distribución rural de mercancías. En la sección IV se muestra la zona de estudio, mientras que la estimación de costos de operación vehicular unitario, como representación del costo de transporte en que incurrirían los locatarios rurales se presentan en la sección V. Finalmente se presentan conclusiones y una propuesta de trabajo futuro.

## II. CONTEXTO DEL COMERCIO MINORISTA EN MÉXICO

De acuerdo con los Censos Económicos de INEGI, 2019 [5], en México hay 2,248,315 establecimientos que pertenecen al sector comercio y que, en su conjunto, emplean a más de siete millones de personas. De estos establecimientos de comercio al por menor, un total de 2,092,770 pertenecen al subsector de comercio al por menor de productos como: abarrotes, alimentos, bebidas, hielo, tabaco entre otros. Específicamente, en el estado de Querétaro existen 33,923 establecimientos de comercio al por menor.

Al enfocarse en el municipio de Amealco, Querétaro, las unidades de comercio al por menor tienden a concentrarse en la cabecera municipal, fuera de ahí existen pocas unidades de negocio de este tipo. Esta dispersión provoca que, en muchos casos, no exista abasto suficiente en las comunidades más

alejadas, lo cual podría traer problemas en cuanto a conseguir productos básicos o bien, a conseguirlos a precios más elevados.

En las comunidades rurales prevalece el modelo de canal tradicional, debido a la dispersión de la población que quita rentabilidad al canal moderno respecto al ámbito urbano.

La ventaja del canal tradicional es que no se necesita de una logística o planificación desarrolladas para contar con una buena rotación de productos, y además, la mayoría de los productos ofertados son de primera necesidad. Otra de las ventajas principales, es que el canal tradicional es mucho más informal y esto le permite competir contra el resto de los canales, con precios y márgenes, principalmente. Por este motivo es más fácil establecer estrategias y planificación.

Entre los principales problemas de este tipo de establecimientos se encuentra que el 67% de las microempresas que existen en México dedicadas a la venta al detalle no utilizan tecnología que apoye sus operaciones de venta y facturación, lo que limita la competitividad del sector. De las 496,000 tiendas de dicho giro que hay en el país, sólo el 33% usa herramientas tecnológicas que se limitan a la computadora. La falta de tecnología en los negocios aumenta la falta de información clave para mejorar los procesos así como limita su crecimiento, aseguró la ejecutiva de la compañía dedicada al desarrollo del software empresarial.

## III. DISTRIBUCIÓN EN ENTORNOS RURALES, EXPERIENCIA INTERNACIONAL

De acuerdo con [6], la alta fragmentación de las tiendas tradicionales causa que la distribución sea ineficiente, especialmente en las ciudades congestionadas. Este autor demuestra que el tamaño promedio de cada entrega en la ciudad era de solo 20 kilogramos, la cantidad diaria consumida por unos pocos hogares en la ciudad del norte de África. En América Latina, los números llegan a ser aún más pequeños, debido a la cantidad limitada de efectivo disponible que se maneja en estas tiendas.

A pesar de que los fabricantes distribuyen directamente cantidades importantes de productos, las economías de escala en el transporte son muy limitadas: un fabricante con una camioneta pequeña tiene que detenerse cada día en 40 a 90 tiendas por ciudad, atendiendo a cada tienda semanalmente. El beneficio para la ciudad es que los consumidores puedan comprar en su vecindario, lo que permite ahorrar tiempo de viaje en sus automóviles o en el transporte público. Sin embargo, este beneficio parece ser menos visible para las autoridades de la ciudad, considerando su tendencia a imponer restricciones a los vehículos de transporte de carga y reducir la eficiencia del sistema de distribución. Estas complejidades resultan en un precio ligeramente más alto que sus competidores de supermercados.

El principal hallazgo de [6] es que los consumidores más pobres en las megaciudades emergentes a menudo pagan más por sus bienes de consumo que los consumidores que tienen más ingresos para gastar. Los márgenes ganados por los propietarios de las tiendas también son escasos. Sin embargo,

no se debe subestimar el papel que juegan las tiendas locales en la economía del vecindario y el tejido social de las ciudades.

En lo que se refiere a las estrategias usadas por las empresas para la distribución de sus productos en mercados emergentes, las empresas utilizan un mayor número de distribuidores para entregar productos de bajo valor unitario y que para distribuir productos de alto valor unitario prefieren tener un mayor control del canal.

Es de esperarse que las condiciones del camino influyan en el costo de transporte de mercancías, lo que se traduce en incremento en los precios de los productos de consumo en su destino final. En [7] se muestra un estudio de caracterización de cadenas de exportación de piña fresca en el que se observa que en la primera milla los caminos se encuentran en malas condiciones, lo cual repercutirá en el costo final del producto, situación que se acentúa cuando el producto tiene una densidad económica menor, en donde para una piña de menor valor los costos logísticos representan el 65% del valor total del producto puesto en frontera, mientras que para una piña de mayor valor la participación de los costos logísticos baja hasta el 34%.

En un estudio sobre el transporte rural en Centroamérica [8], se encontró que, casi de manera generalizada, no se tiene consciencia plena del costo de transporte. Esto se aprecia en la gran mayoría de productores cuyos costos de transporte resultan altos, pero muy pocos consideran que estos son muy altos y algunos sostienen que los costos les resultan adecuados. La oferta del transporte es baja en algunas regiones pues les cuesta encontrar quien les lleve sus productos desde el campo hacia los mercados.

Una de las principales características del sector del transporte en Centroamérica es su atomización, la cual se manifiesta por un gran número de empresas (95-97%) con uno o dos vehículos y con muy pocos empleados. No existe coordinación entre estas empresas, por lo que tienen intereses distintos entre todos los agentes implicados.

Un factor más se refiere a los precios del transporte que tienden a bajar debido a la fuerte competencia mientras que los costos de combustible, laborales y otros cada vez son más elevados.

De acuerdo con el mismo estudio, aunque el transporte de los productos tiene gran importancia en la determinación de costos y tiempo dentro de las etapas necesarias para que un producto llegue al mercado, la mayoría de los productores desconocen los costos del transporte que utilizaban, generalmente solo saben cuánto les cobran por unidad que transportan y no hacen un registro del costo operativo del transporte.

La referencia [9] trata sobre las condiciones de comercio tradicional en entornos rurales en India, se ha observado que la mayoría de los encuestados están comprando productos de cuidado personal, frutas y sombreros. Sin embargo, los productos como ropa, calzado y artículos duraderos se compran principalmente en el tehsil (el equivalente a las cabeceras municipales en México) o van a centros poblacionales más grandes. Los clientes están satisfechos

con los precios y la accesibilidad del mercado. Pero, no están satisfechos con la calidad y variedad de marcas de los productos que están disponibles en el mercado minorista accesible y las respuestas simplemente varían según los factores demográficos.

De acuerdo con este mismo estudio, en la India existen diferentes sectores industriales que están en la fase de transición de modelos comerciales convencionales a modelos innovadores y orientados al mercado. Se encontró que aunque el comercio al por menor no es un concepto nuevo, los formatos emergentes del comercio minorista tienen desafíos difíciles frente a los minoristas indios. Actualmente, casi el 60% de la población reside en la India rural y sus necesidades minoristas son parcialmente satisfechas por las tiendas minoristas. Dicho estudio es para explorar el potencial del mercado minorista rural de la India, así como desarrollar un modelo de negocio para el mercado minorista rural. Este estudio encuentra que los consumidores indios se están volviendo muy impredecibles, y hay una nueva variedad de minoristas modernos que están tratando de satisfacer las necesidades del "nuevo" consumidor indio. A pesar de que la población se concentra en áreas rurales, el 85% de la venta minorista se lleva a cabo en áreas urbanas. Durante los años de auge, a medida que la clase media urbana crecía, los especialistas en marketing no pensaban demasiado en los consumidores rurales, ahora, cuando el mercado urbano está cerca de la saturación ante la dura competencia, los vendedores están apuntando a los mercados rurales, al ser la única forma de mantener su mercado a compartir.

La India tiene una red muy grande de tiendas locales dispersas por todo el territorio. Estas pequeñas tiendas son muy personales y han construido una fuerte relación con la población local, ofrecen crédito a la población local y ayudan en tiempos de crisis. También tienen gastos generales muy bajos que les permitan ofrecer el mejor precio de sus productos. Sin embargo, se cree que las nuevas cadenas minoristas impulsarán estas pequeñas tiendas fuera del negocio.

Para conocer las características del transporte en ámbitos rurales, en [10] se propone una metodología, la cual comprende:

- Revisión del entorno regulatorio. Este proceso implica seleccionar las áreas de estudio y un investigador o equipo de investigación apropiado. aprender sobre el entorno legal y de políticas, a través de la revisión de literatura y entrevistas con organizaciones y autoridades nacionales relevantes.
- Observaciones georreferenciadas de diferentes sistemas de hub y radios (Hubs and spokes). En este proceso los investigadores deben ver en poco tiempo una gran variedad de carreteras, sus condiciones, tecnologías de transporte y situaciones de transporte rural
- Evaluación participativa con las partes interesadas clave de los servicios de transporte rural existentes, y cómo podrían mejorarse. Se debe obtener información detallada de los operadores de al menos dos tipos de transporte

motorizado y al menos un tipo de modos intermedios de transporte, sin dejar de lado el punto de vista de los usuarios.

Esta metodología fue avalada por el programa para planeación del transporte para Africa, dependiente del Banco Mundial (SSATP, Sub Saharian Africa Transport Policy Program). El objetivo de la metodología es lograr en un tiempo relativamente corto (cuatro a ocho semanas) una visión general del sistema de transporte rural en el área seleccionada. Su propósito es identificar indicadores clave y características que permitirán describir el sistema y, si es posible, "mapear" (representación gráfica, no cartografía). La metodología fue adecuada para trabajar con la metodología PIAR en la zona de estudio.

#### IV. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la zona de estudio, se eligió el municipio de Amealco, puesto que cumple con criterios de marginación mencionados en [1], al ser una comunidad rural y una zona de Atención Prioritarias Rurales de acuerdo con el Decreto por el que se emite la Declaratoria de Zonas de Atención Prioritaria para el año 2014, ver figura 3.

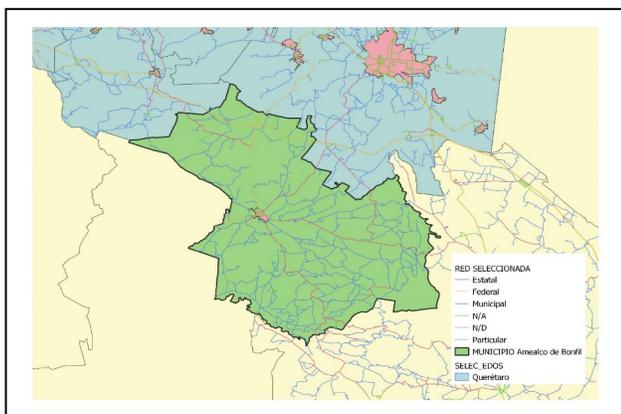


Fig. 3. Red de caminos en la zona seleccionada

El municipio de Amealco de Bonfil se localiza al Sur del estado de Querétaro. Colinda con los municipios de San Juan del Río y Huimilpan, Querétaro; así como con los municipios de Aculco, Acambay y Temascalcingo, del Estado de México; y con el municipio de Epitacio Huerta, en Michoacán.

En cuanto al comercio en esta zona, la mayor infraestructura y equipamiento se concentra en la cabecera municipal teniendo como un nivel de servicio básico, creando un comportamiento social de dependencia de la cabecera para el abastecimiento en las comunidades del municipio [11] como se muestra en la figura 4.

De acuerdo con INEGI, 2015, La red vial primaria que conecta a la cabecera municipal con otros municipios y estados consta de una carretera Federal y tres estatales. Dichas carreteras son la federal México 120 Amealco – San Juan del Río que llega por el norte de la localidad; la estatal Qro. 300 San Juan del Río – Santiago Mexquititlan llegando por el noroeste de la localidad, rodeándola y saliendo por el

sureste de la misma; la estatal Qro. 320 que pasa por el norte de la localidad y estatal Qro. 330 Amealco – San Ildefonso que entra por el este [5].

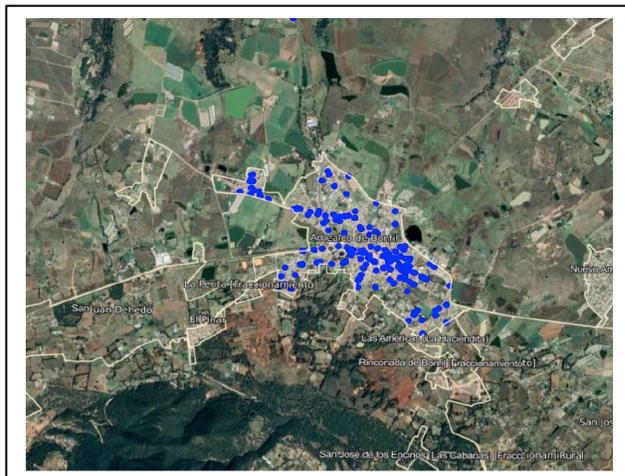


Fig. 4. Ubicación de tiendas locales de acuerdo con el DENUÉ 2015

#### V. ESTIMACIÓN DE COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR UNITARIO

Para ejemplificar los costos de transporte en los que se podría incurrir, se toma una tienda tipo en la comunidad de San Felipe (Santiago Mexquititlán Barrio sexto). Esta comunidad se encuentra a casi 17 Km de la cabecera municipal y, de acuerdo con el catálogo de localidades de SEDESOL, cuenta con nivel de marginación alto.

Se hicieron recorridos para grabar algunas rutas representativas con GPS, las cuales se combinaron con la Red Nacional de Caminos desarrollada por el IMT en conjunto con la SCT y el INEGI y se representaron usando el software QGIS con fondo proporcionado por la aplicación HERE.

Para hacer llegar los productos básicos a una tienda localizada en esta comunidad se consideraron las principales localidades en sus alrededores que pudieran concentrar productos de consumo básico:

- Amealco, Qro.
- San Juan del Río, Qro.
- Querétaro, Qro.
- Temascalcingo, Edo. de México
- Atlacomulco, Edo. de México

En las tablas de estimación de costos se observa que, para obtener los productos básicos, en muchas ocasiones deben ir a centros de población y consumo más grandes, por lo que tienen que recorrer distancias considerables y, en ocasiones, su última milla se caracteriza por caminos empedrados o de terracería, lo cual repercute en el costo total de operación de

transporte y consecuentemente en los precios de los productos básicos a los consumidores finales.

En los estudios de metodología PIAR se observó que la mayoría de las veces se utilizaban vehículos de carga ligeros, tipo pick up. Para estimar los costos de aprovisionamiento de productos básicos se tomó como vehículo equivalente la Urvan de Nissan, con datos de [12], los cuales se muestran en la tabla I. Cabe mencionar que se tomaron datos de este tipo de vehículo puesto que dentro de este documento es el vehículo más parecido a los vehículos observados en campo.

En el mismo documento se propone una escala para caracterizar el índice internacional de rugosidad (IRI) de carretera (el cual mide las deformaciones verticales de la superficie de un camino respecto a la superficie plana) en función del tipo de camino, es decir, que IRI corresponde a un camino con pavimento nuevo, camino con pavimento viejo, camino empedrado, camino de terracería, etc.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO, COSTOS UNITARIOS 2020

Peso del vehículo vacío	kg	1,680.00
Carga útil	kg	1,030.00
Potencia máxima en operación	HP métrico	63.87
Potencia máxima del freno	HP métrico	51.91
Velocidad deseada	km/h	110.00
Costo del combustible	\$/litro	16.29
Costo de los lubricantes	\$/litro	37.93
Costo por llanta nueva	\$/llanta	1 050.00
Tiempo de los operarios	\$/hora	32.73
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	30.97
Tasa de interés anual	%	4.10
Costos indirectos por veh-km	\$	0.50

En la misma publicación se hace uso del software de Costo de Operación Vehicular (VOC), dando como resultado la tabla II (pesos de 2020):

TABLA II. COSTOS DE OPERACIÓN TIPO (PESOS MEXICANOS 2020)

HIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	5.51	5.74	6.38	7.25
4	5.81	6.06	6.70	7.57
6	6.22	6.49	7.14	8.01
8	6.80	7.09	7.75	8.60
10	7.62	7.91	8.57	9.39
12	8.54	8.83	9.47	10.27

#### A. Ruta hacia y desde la cabecera municipal

El primer centro de abastecimiento de tiendas locales hacia la comunidad de San Felipe se situaría en la cabecera Municipal, que se encuentra a 22 Km de distancia.

La ruta para llegar desde Amealco usa la carretera estatal 300 desde Amealco hasta el Km 45, en la comunidad de La Torre, a partir de donde se toma un camino municipal de 6 Km.

Al estimar los costos de transporte por cada viaje desde Amealco hasta San Felipe, las cifras quedan como se muestra en la tabla III.

Si se mejoran las condiciones del camino municipal, los costos serían quedarían como se muestra en la tabla IV.

En el estado actual, la carretera estatal se encuentra en buenas condiciones y en un terreno montañoso, por lo que el costo de operación por kilómetro es de \$7.25, mientras que los últimos 6 km el camino es de tipo empedrado, por lo que el costo de operación por kilómetro es de \$7.14.

En caso de que se mejoraran las condiciones del camino municipal de tal manera que quede con un pavimento en buenas condiciones, el costo por kilómetro bajaría a \$6.38, por lo que el costo total a partir del centro de abastecimiento en Amealco pasaría de \$317.72 a \$308.91, esto es un ahorro de casi 3%.

Este ahorro pudiera parecer pequeño, pero finalmente estos costos son transferidos al cliente de las tiendas rurales, los cuales son de escasos recursos y se ven afectados ante cambios en el precio final de los productos de primera necesidad.

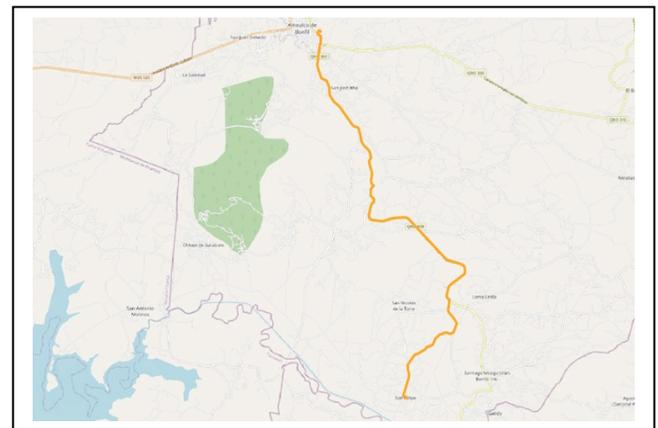


Fig. 5. Ruta San Felipe – Amealco

TABLA III. COSTO DEL RECORRIDO SAN FELIPE - AMEALCO (PESOS MEXICANOS 2020)

	Distancia	IRI estimado	Tipo terreno	Costo por km	costo del recorrido
Carretera estatal	16.2	2	montañoso	\$7.25	\$117.45
Camino municipal	5.8	6	lomerío	\$7.14	\$41.41

Viaje ida	\$158.86
Viaje redondo	\$317.72

TABLA IV. COSTO DEL RECORRIDO MEJORADO SAN FELIPE - AMEALCO

	Distancia	IRI estimado	Tipo terreno	Costo por km	Costo del recorrido
Carretera estatal	16.2	2	montañoso	\$7.25	\$117.45
Camino municipal mejorado	5.8	2	lomerío	\$6.38	\$37.00
Viaje ida					\$154.45
Viaje redondo					\$308.91
				Ahorro	2.77%

Cabe mencionar que este ahorro se estimó para un tipo de vehículo específico, pero este se modificaría en función de la edad y tipo del vehículo.

La proporción del costo de operación en el precio final con las condiciones actuales del camino depende del monto del valor del producto transportado. Si se considera un valor promedio del valor de la mercancía de \$10,000 el costo de transporte representaría añadir 3.17% al costo de transporte del producto puesto en la cabecera municipal.

Este mismo procedimiento se realizó para los demás orígenes de carga, con lo que se obtuvieron los costos de operación vehicular con la carretera en estado actual, los costos en caso de que se mejorara la carretera, el porcentaje de diferencia en costos y la proporción del costo adicional sobre el valor de la mercancía para un embarque tipo. Los resultados se muestran en la tabla V.

Considerando los costos de operación vehicular para los distintos puntos que fungen como centros de abastecimiento, el costo extra a partir de dichos puntos va desde poco más de un 3% hasta casi un 13%. Como se puede apreciar en la figura 6.

TABLA V. COSTO DE TRANSPORTE A PARTIR DE LOS DISTINTOS CENTROS DE ABASTECIMIENTO

	costo del recorrido		mejora
	actual	mejorado	
Amealco	\$317.72	\$308.91	2.77%
San Juan del Río	\$781.72	\$772.91	1.13%
Querétaro	\$1,245.72	\$1,236.91	0.71%
Temascalcingo	\$303.54	\$267.96	11.72%
Atzacmulco	\$813.02	\$777.44	4.38%
Aculco	\$317.72	\$308.91	2.77%

Estos costos adicionales están en función principalmente de la distancia que se tiene que recorrer, pero con énfasis en el tipo de superficie de rodamiento, como observa en las

tablas III y IV, donde el costo por km en la carretera estatal en su estado actual es de 7.14 pesos por kilómetro, mientras que con el camino mejorado el costo de transporte bajaría a 6.38 pesos por km, lo que representa un ahorro de 10.14% en el tramo estatal.

Como es de esperarse entre mayor es el tramo en malas condiciones, mayor será el ahorro de transporte al mejorar el camino. Por otra parte, en las rutas en las que los tramos carreteros en buen estado representan la mayor parte de la misma, la disminución en costos de operación vehicular en los tramos en mal estado (con menor participación en la longitud de la ruta) tendrán un impacto menor. En la figura 7 se muestra la diferencia en los costos de operación vehicular vista como ahorro por mejora de camino, se observa que las rutas que tienen mayores tramos con pavimento en mal estado o con caminos empedrados podrían tener mayores ahorros por concepto de mejorar las condiciones del camino

Se aprecia que en todas las rutas se puede disminuir el costo de operación vehicular, el cual estaría en función del mejoramiento de las condiciones del camino, particularmente de aquellos tramos que se encuentran en mal estado, empedrados o de terracería.

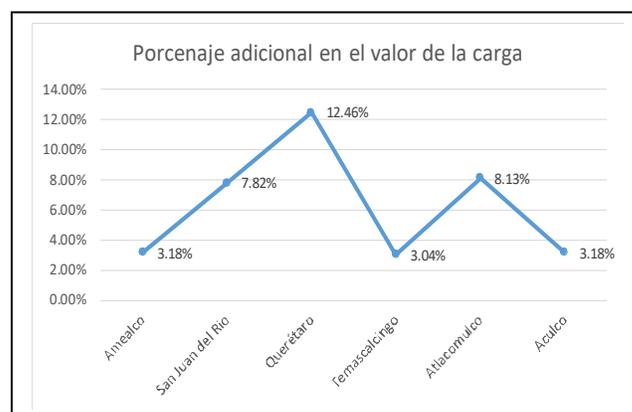


Fig. 6. Porcentaje adicional en el costo de transporte desde el punto de abastecimiento respecto al valor de la carga.

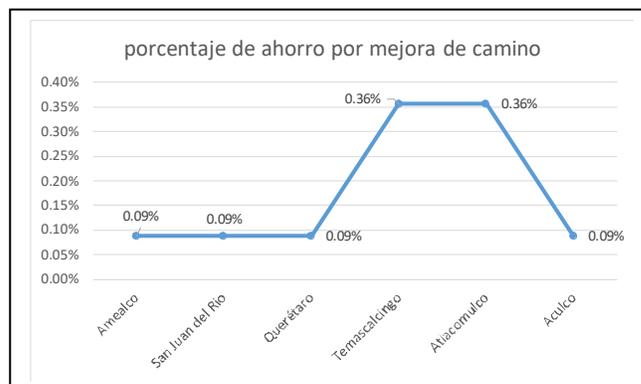


Fig. 7. Porcentaje de ahorro en el costo de transporte en el último tramo por mejora en el camino

## VI. CONCLUSIONES

En estudios referentes al papel de las tiendas locales se encontró que el 58% de las tiendas en el país se encuentran en zonas urbanas, lo que implica que el 42% restante está en zonas rurales, donde la falta de cobertura en tecnologías de comunicación hace que sean la forma de comercialización dominante dado que el canal moderno prácticamente no se encuentra en comunidades rurales. En la región de estudio se existen tiendas del canal moderno pero solamente en la cabecera municipal, mientras que en comunidades de menos de 2500 habitantes únicamente se encuentran tienditas locales.

El beneficio para los consumidores urbanos de las tiendas locales es que comprar en su vecindario, lo que permite ahorrar tiempo de viaje en sus automóviles o en el transporte público.

Estas Ventajas de las tiendas locales vistas en zonas urbanas también son válidas en el ámbito rural. Sin embargo, las complejidades resultantes de empaquetar en unidades más pequeñas, las distancias recorridas y las condiciones del camino resultan en un precio ligeramente más alto que sus competidores de supermercados. En muchos casos, se encontró que la diferencia es pequeña, pero que podría ser de hasta 30% más.

Se muestra la naturaleza de algunas cadenas logísticas locales tomando como ejemplo una comunidad rural. Se observa que para obtener los productos básicos en muchas ocasiones tienen que ir a centros de población y consumo más grandes, por lo que tienen que recorrer distancias considerables y, en ocasiones, su última milla se caracteriza por caminos empedrados o de terracería, lo cual repercute en el costo total de operación de transporte y consecuentemente en los precios de los productos básicos a los consumidores finales.

Como trabajo futuro sigue continuar con el aprovechamiento del resultado de las encuestas derivadas de la metodología PIAR para la identificación de corredores locales de transporte, los flujos origen destino y la demanda

que tendría la infraestructura de transporte. Asimismo, la estimación de ahorros en costos de operación vehicular en los tramos carreteros al mejorar las condiciones de los mismos.

## REFERENCIAS

- [1]. A. Balbuena, A. Bustos, A. Zamora y A. Ascencio. Planificación Integral del Acceso Rural. Estudio piloto en la microrregión de San Ildefonso Tultepec, Amealco, Querétaro. Informe de investigación. Instituto Mexicano del Transporte. 2016.
- [2]. A. Balbuena, A. Bustos, A. Zamora y A. Ascencio. Planificación Integral del Acceso Rural. Zona norte del municipio de Amealco. Informe de investigación. Instituto Mexicano del Transporte. 2016.
- [3]. A. Balbuena, A. Bustos, A. Zamora y A. Ascencio. Planificación Integral del Acceso Rural. Zona poniente del municipio de Amealco. Informe de investigación. Instituto Mexicano del Transporte. 2018.
- [4]. A. Balbuena, A. Bustos, A. Zamora y A. Ascencio. Planificación Integral del Acceso Rural. Microrregión de Santiago Mexquititlán. Informe de investigación. Instituto Mexicano del Transporte. 2019.
- [5]. INEGI. Censos Económicos 2019. Recuperado el 11 de julio del 2020 de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- [6]. E. Blanco, J. Fransoo. Jan. "Reaching 50 million nanostores: retail distribution in emerging megacities". Working Paper WP-404, Eindhoven University of Technology. 2013.
- [7]. C. Martner, C. Morales, E. de la Torre, A. Bustos. Cadenas logísticas de exportación en México. Instituto Mexicano del Transporte. 2005
- [8]. L. de Leon, E. de Leon. "Transporte rural de productos alimenticios en América Latina y el Caribe". Boletín de servicios agrícolas de la FAO 155. 2004.
- [9]. S. Dey, S. Rafat, P. Agarwal. "Organized Retail in the Rural Markets in India". ISSN: 2278-487X. Volume 6, Issue 1 (Nov. - Dec. 2012), PP 16-25.
- [10]. P. Starkey. A Methodology for Rapid Assessment of Rural Transport Services. Sub-Saharan Africa Transport Policy Program SSATP Working Paper No.87-A. 2007
- [11]. INEGI. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. DENU. Recuperado el 11 de octubre de 2020 de <https://en.www.inegi.org.mx/app/mapa/denu/>
- [12]. A. Arroyo, G. Torres, S. Hernandez, A. Gonzalez. Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2020. Instituto Mexicano del Transporte. 2016.



# **Capacidad de absorción tecnológica del capital trabajo en las pequeñas y medianas empresas de autopartes plásticas en el Estado de México**

Anabel Martínez Guzmán, Verónica Velázquez Romero,  
Rebeca Díaz Téllez.

# Capacidad de absorción tecnológica del capital trabajo en las pequeñas y medianas empresas de autopartes plásticas en el Estado de México

Anabel Martínez Guzmán  
Jefatura de la División de la  
licenciatura en Administración e  
Ingeniería en Gestión  
Empresarial  
[anabel.sub.a@tesco.edu.mx](mailto:anabel.sub.a@tesco.edu.mx)

Verónica Velázquez Romero  
Jefatura de la División de  
Ingeniería Industrial  
[veronica.sub.a@tesco.edu.mx](mailto:veronica.sub.a@tesco.edu.mx)

Rebeca Díaz Téllez  
Jefatura de la División de la  
licenciatura en Administración e  
Ingeniería en Gestión  
Empresarial  
TecNM-Tecnológico de Estudios  
Superiores de Coacalco,  
Coacalco de Berriozábal, Estado  
de México, México.  
[rebeca.sub.a@tesco.edu.mx](mailto:rebeca.sub.a@tesco.edu.mx)

**Resumen:** Los métodos de regresión lineal resumen la relación entre un conjunto de regresores y la variable de resultado (dependiente), tratando de cumplir con la condición de normalidad de sus residuos, a diferencia de este método, la regresión por cuantiles nos permite describir la asociación existente entre diferentes puntos de la distribución condicional a la variable dependiente, asociada a la mediana. Se suele seleccionar estos métodos cuando una variable presenta un comportamiento casi elíptico. Este estudio aplica una regresión por cuantiles para conocer si existe una relación entre el crecimiento de las importaciones de insumos por las empresas de autopartes plásticas (rama censal 326192 Fabricación de autopartes de plástico) y las variables producción, antigüedad de la empresa, tamaño, importaciones de China y su capacidad de absorción tecnológica. El modelo empírico propuesto sugiere que la capacidad de absorción tecnológica medida por el capital trabajo disminuye en 0.70, lo que nos indica que al incrementarse las importaciones de las empresas de autopartes (50.7%) tienen pocas posibilidades de apropiarse de la nueva tecnología (bioplásticos) e incrementando la dependencia del sector por las resinas sintéticas y alternativas provenientes de Estados Unidos de América (EUA) y China.

**Palabras Clave:** capacidad de absorción, innovación tecnológica, regresión cuantilica

## I. INTRODUCCION

En los últimos veinte años la producción mundial de vehículos ha sufrido una serie de procesos disruptivos vinculados a las cuatro mega tendencias denominadas CASE (por sus siglas en inglés, conectado, autónomo, compartido y eléctrico [1]), las cuales han modificado los ecosistemas de la industria automotriz haciéndola más intensiva en su relación capital/conocimiento[2]. COVID-19 también redirigió las intenciones de los consumidores de autos nuevos, sus efectos presentaron diferencias tendencias entre los tres principales

consumidores mundiales; por ejemplo, Alemania y EUA, registraron una ligera caída en las intenciones de compra de automóviles para el mes de agosto de 2020 (tres y dos por ciento respectivamente[3]). El estancamiento económico y los despidos mantuvieron bajas las ventas de automóviles durante todo el año, principalmente en el mercado europeo[4]. En China, sin embargo, el cambio en los consumidores que pretendían comprar un vehículo nuevo después de COVID-19 aumentó en un siete por ciento [3]. Aunado a la creciente participación del mercado asiático en la producción de vehículos ligeros, destaca el hecho de que China paso de ser el noveno productor mundial de autos ligeros en el año 2000 con una producción de 1.9 millones, al primer lugar para el decenio de 2010 al 2020 con una producción de 16.8 millones de unidades promedio anual. A diferencia de China, México, solo subió dos niveles, al pasar del octavo al sexto lugar (paso de 3 a 2.0 millones de autos en el mismo periodo 2020[5]). Para Carrillo y Matus [6], la única ventaja competitiva adquirida por México en estos años ha sido su cercanía a EUA y los tratados de libre comercio con los que cuenta, como lo es el acuerdo comercial entre México, EUA y Canadá (T-MEC) así como la inversión extranjera directa captada y los empleos generados por el sector.

En México se comercializan cuarenta y tres marcas de automóviles: Audi, BAIC, BMW, Fiat Chrysler Automobiles (Alfa Romeo, Fiat, Chrysler, Dodge, Jeep, Ram, Ferrari), Ford (Lincoln), General Motors (Buick, Cadillac, Chevrolet, GMC), Honda (Acura), Hyundai, Isuzu, JAC, KIA, Mazda, Mercedes-Benz, Mini, Nissan, Peugeot, Renault (Infiniti), Subaru, Suzuki, Tata Motors (Jaguar, Land Rover), Toyota, Volkswagen (Seat, Porsche, Lamborghini, Bentley) y Volvo. Las empresas Chinas en México ingresaron en el año 2007, con las marcas: BAIC y JAC[7] ya para 2017 se instalaron seis

empresas más, destacándose cuatro empresas productoras de componentes (ver Tabla 1).

TABLA I. EMPRESAS CHINAS CON PRESENCIA EN MÉXICO, 2017

Empresa	Subsector	Empleos generados	Inversión en MDD
	Autos		
BAIC	ensamblados	500	30
JAC MOTORS	Componentes	4,400	1,000
KEY SAFETY SYSTEMS	Componentes	1,800	89
MINTH GROUP	Componentes	1,800	350
NEXTEER AUTOMOTIVE	Componentes	400	40
SANHUA AUTOMOTIVE	Componentes	600	15
SANHUA HOLDING GROUP	Manufacturas	21	600
SUZHOU SONAVOX ELECTRONICS	Componentes	205	3
Otras	Varios	2,083	641
<b>Total</b>		<b>11,809</b>	<b>2,768</b>

Nota. MDD millones de dólares.

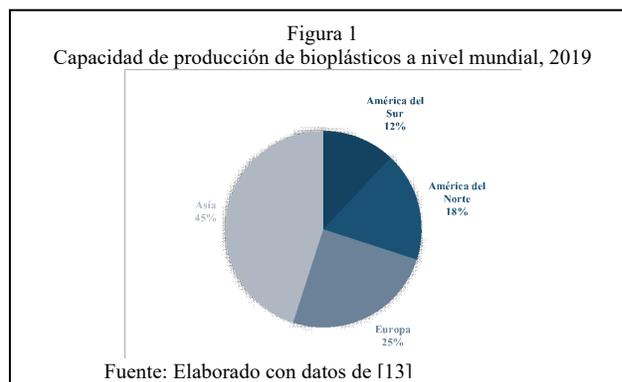
Fuente. Elaborado con datos de [7] y [8]

Gachúz y Montes [9] sugieren que la presencia de la industria automotriz de origen chino en México en la última década tuvo como objetivo vender sus unidades a EUA y abastecer el mercado nacional con productos de calidad y precios competitivos. China de alguna manera ha tomado ventaja de los acuerdos comerciales que tiene el país para incrementar sus exportaciones, en especial por la producción de autopartes, que son de tres tipos: partes y accesorios mecánicos, piezas de motores eléctricos y partes y accesorios eléctricos. Esta última categoría se incluyen sistemas electrónicos para el control del motor, sistemas de frenos antibloqueo (ABS), sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de entretenimiento y de comunicación, etc.[10]. Las autopartes que produce nuestro país son: arneses, hilos y cables; asientos y sus partes; motores de combustión interna; ejes con diferencial y sus partes; cajas de cambios y sus partes; mecanismos de frenos; y aparatos para aire acondicionado el 76% de su producción se exporta a EUA y sus importaciones con respecto a México representaron el 37%[11]. Con la aplicación de las reglas de origen del (T-MEC), EUA buscará importar más en México para frenar de alguna manera el hegemonía de China en el mercado automotriz.

Desde finales de 2019 se ha evidenciado la dependencia de los del sector automotriz hacia los suministros de origen asiático, esto ha motivado a la Comunidad Europea a solicitar a este sector una mayor diversificación y capacidad de respuesta ante contingencias y sobre todo ante su reciente postura de erradicar los motores de combustible para el 2035 y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La Comunidad Europea y EUA tienen claridad en su política comercial, porque saben que lo que no

puedan producir ellos en el corto plazo, tendrán que importarlo de Asia[12].

La Figura 1 presenta la distribución porcentual por región de la capacidad de producción de bioplásticos a nivel mundial en 2019. El nivel de producción de bioplásticos alcanzó los 2,11 millones de toneladas métricas, de los cuales el 45% se llevó a cabo en Asia y el 25% en Europa [13]. El término bioplásticos hace referencia a materiales plásticos de dos



familias. Tanto los plásticos de origen biológico, fabricados a partir de biomasa, como los plásticos biodegradables son considerados bioplásticos. Las dos características pueden también darse en un mismo material, de modo que tenga origen biológico y sea biodegradable[14].

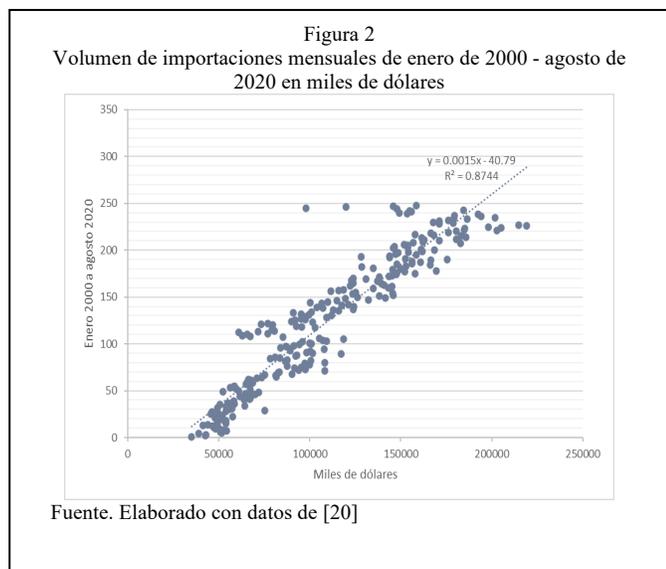
La arquitectura de la producción de autos en México, 78% corresponde al denominado vehículos *full frame*, 22% restante es por *unibody* (vehículo en el que piso, techo, paneles y suelo se sujetan en una sola unidad), concentrándose en tres marcas (GM, Chrysler y Toyota, [11]). Este tipo de vehículos ligeros requieren en su producción un mayor volumen del insumo plástico, en particular para los modelos autónomos, eléctricos y compartidos. Aproximadamente el 60% del peso de un automóvil proviene del acero, del 25 al 30% de sus componentes están hechos de plástico, este material proporciona al auto más ligereza, velocidad y mayor rendimiento así como ahorro en combustible o energía[15].

Antecedentes

La industria de autopartes mexicana nace bajo el amparo del sistema de producción de automóviles de Norteamérica, esta dependencia se encuentra ligada a la presencia de compañías y proveedores extranjeros, así como a la subcontratación de empresas por parte de las denominadas Original Equipment Manufacturers [16] que propicia que los principales proveedores coloquen sus fábricas geográficamente cerca de sus clientes, lo cual le permite importar piezas y componentes de distribuidores internacionales con una reducción de costos que le garantiza su presencia en las regiones productoras [17]. Comparando México con China, nuestro país no ha sido capaz de producir su propia marca de automóvil ni se destaca por tener políticas públicas de innovación tecnológica exitosas en el sector que fortalezcan la cadena de autopartes automotriz y en específico la de autopartes.

El comercio de autopartes es un elemento del sector automotriz que se debe analizar por los efectos multiplicadores que en su conjunto pueden generar, pues existen importaciones de autopartes que se utilizan para el ensamble de autos y otras autopartes se exportan principalmente a EUA y Canadá. El insumo plástico es uno de los más importados por México, baste citar que el saldo de su balanza comercial del sector plástico para el bienio de 2018-2019 fue de 16,477 millones de dólares[18].

Las industrias que más demandan plástico en México son: automotriz, dispositivos médicos, construcción, envases, agrícolas y electrodomésticos, entre muchos otros. Los

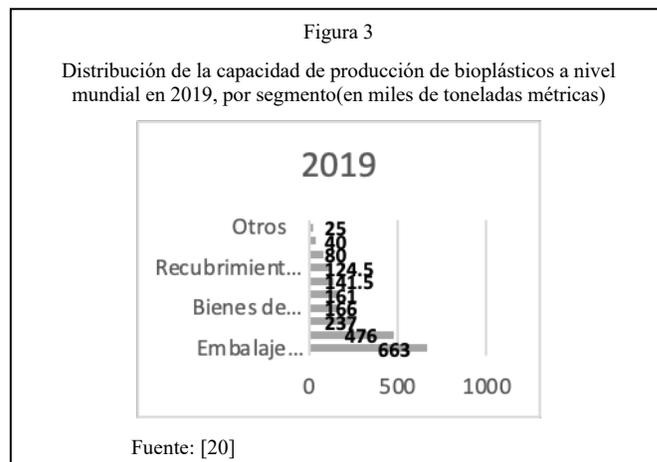


principales productores de resinas en el país son: Indelpro (PP), Indorama Ventures (PET), Resirene (PS) y Braskem Idesa (PE). Las subpartidas 840733.91 y 840991.63 son las de mayor dependencia con EUA. México se posicionó desde 2017 en el doceavo importador de plásticos en el mundo. En la figura 1 podemos apreciar las importaciones del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías, Sección VII. Plástico y sus manufacturas; caucho y sus manufacturas, Capítulo 39. Plástico y sus manufacturas[19]. El periodo analizado es mensual y comprende de enero de 2000 a agosto de 2020, la línea de regresión nos muestra la tasa de crecimiento promedio mensual del volumen de las importaciones en miles de dólares, que fue de 0.0015% mensual y el valor de la pendiente de 40 mil dólares, lo que representan el promedio de importaciones realizadas por el sector (figura 2).

Una razón para sustituir importaciones por producción nacional son las reglas relativas al Valor de Contenido Laboral (VCL), ya que en el marco de las reglas de origen del sector automotriz del T-MEC se detalla la forma en que se medirá este indicador en la producción de autos y sus partes, pues se incrementó el Valor del Contenido Regional (VCR) de 62.5% a 75%. Las reglas de origen también establecen un VCL de 40%, esto significa que el 40% del vehículo deberá producirse con

capital trabajo medido en salarios (16 dólares estadounidenses por hora [7]).

Las autopartes principales como sistemas de frenos, asientos, cinturones de seguridad, llantas, vidrios, retrovisores, bombas, entre otros, tendrán que incrementar su VCR iniciando con 62.5% en 2020; 65% en 2021; 67.5% en 2022 y 70% en 2023 respectivamente [15]. En el caso de los motores, transmisiones, chasis, sistema de suspensión, baterías, sistema de dirección, ejes, entre otros, tendrán un proceso gradual en particular los vehículos ligeros que se comenzó con 66% el 1 de julio de 2020, y finalizará con 75% en 2023 [21]. Por último, en el caso de los componentes complementarios como cerraduras, motores eléctricos, válvulas, sistemas de sonido,



entre otros, el VCR comenzará en 62% con la entrada en vigor del T-MEC e irá aumentando paulatinamente un punto porcentual hasta llegar a 65% en 2023 [22].

La producción de bioplásticos pueden ser una solución para tratar de reducir las importaciones a China. En México, los bioplásticos son una solución parcial de la gestión de residuos debido a que los biobasados no siempre son biodegradables y no todos los biodegradables. Existen dos categorías de bioplásticos que se diferencian por la resina o el polímero utilizado para su elaboración. Esta diferenciación establece su nivel de biodegradable y resistencia la cual se determinan por el ácido poliláctico (PLA). En México existen dos empresas que producen bioplásticos y que ya destinan a la industria de autopartes. En 2019 las importaciones de bioplástico a nivel mundial se concentraron en el sector de embalaje flexible, pero el sector automotriz y de transporte ocupó el sexto lugar con un requerimiento de 141.5 miles de toneladas métricas (ver figura 3).

El objetivo de esta investigación es conocer si la industria de autopartes de plástico en el Estado de México se está preparando para este proceso de sustitución de importaciones mediante la innovación tecnológica y la producción de bioplásticos y otros componentes como el grafeno que tienen altas posibilidades de ser producidos a grandes volúmenes en el país. Otra razón por lo que la empresa de autopartes del Estado de México tendrá que reconvertirse es la disminución de la actividad de producción de autos ligeros actualmente cuenta

con siete empresas ensambladoras y doscientas cincuenta y seis productoras de autopartes, cuarenta y cinco empresas de la rama censal 326192 Fabricación de autopartes de plástico, lo que representa 18 por ciento de la industria armadora y 25 por ciento de la industria de autopartes a nivel nacional [23]. Empresas ensambladoras cuenta con dos: Ford Complejo Cuautitlán Izcalli y Chrysler Toluca. El Estado de México,

## II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Para medir la absorción tecnológica consideramos el capital conocimiento definido en los modelos de inversión en innovación, en particular en los modelos teóricos propuestos por la Teoría Neoschumpeteriana, quienes consideran que las diferentes bases de conocimiento del personal ocupado en una empresa, genera una diversidad de crecimientos en las mismas definidos como externalidades de conocimiento “Knowledge Spillovers” que pueden influir sobre sus decisiones de inversión. Esto hace posible pensar que la absorción tecnológica aumenta con el grado de cualificación de los trabajadores. Regularmente se propone un índice que represente el nivel educativo de los trabajadores, el primero de los índices mide la educación básica (primaria y secundaria), el segundo el nivel medio superior y por último el índice representativo de educación profesional, técnica y tecnológica. En nuestro caso propusimos la elaboración de un índice ponderado único que dé peso a los trabajadores de educación básica, ya que entre menor sea este índice nos reflejará la presencia de trabajadores calificados en la empresa. El índice que se propuso fue el siguiente:

$$CAT = \frac{TEB - TET}{TL + TP} \quad (1)$$

Donde:

CAT= capacidad de absorción tecnológica medida por capital trabajo.

TEB= Total de horas trabajadas por los empleados de educación básica.

TET: Total de horas trabajadas por los empleados de educación tecnológica a nivel media superior y media superior.

TL= Total de horas trabajadas por trabajador con licenciatura.

TP= Total de horas trabajadas por trabajador con posgrado.

Dado que no tenemos el total de inversión en desarrollo de nuevos productos hemos propuesto el indicador capacidad de absorción medido por capital trabajo a través de las horas trabajadas.

Si consideramos a las empresas como organizaciones capaces de desarrollar capacidades a partir de las habilidades de sus miembros, la adquisición de una nueva maquinaria o la adopción de prácticas de trabajo con empresas aliadas se traduce como aprendizaje [24]. De esta manera es válido usar la variable trabajo como una forma de medir la competitividad. Para algunos autores, la competitividad depende de la capacidad de adquirir nuevos conocimientos e incorporar los en

las prácticas productivas que garanticen la integración a las cadenas globales de producción [25].

## III. METODOLOGÍA

El método que vamos a emplear para medir la relación entre crecimiento de las importaciones y la capacidad de absorción es la regresión cuantílica, el cual modela la relación entre un conjunto de variables independientes y una variable dependiente, su representación gráfica presenta un comportamiento casi elíptico al comparar la variable objetivo con el tiempo. Es importante mencionar que no se afecta a los resultados del modelo, el único requisito que se necesita es que la variable dependiente sea numérica y continua y siempre se debe usar el intercepto.

a) Primero buscamos en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [26] en la rama censal 326192 Fabricación de autopartes de plástico dando un total de 430 empresas. Seleccionando solo en este estudio a las empresas localizadas en el Estado de México que dieron un total de 50, solamente 35 de ellas tenían completos sus datos para contactarlas, por lo que tuvimos que recurrir números de teléfono y contacto por redes sociales. Durante los meses de noviembre de 2020 a enero del 2021 nos dimos a la tarea de actualizar sus datos y buscar información secundaria sobre si importaban algún insumo para producir las autopartes plásticas y el origen de la importación.

b) Los datos de importación los obtuvimos mediante el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías, Sección VII. Plástico y sus manufacturas; caucho y sus manufacturas, Capítulo 39. Plástico y sus manufacturas 39.07 Poliésteres, resinas epóxicas, entre otras. Datos de producción se consultaron en el Sistema Automatizado de Información Censal, (SAIC) a nivel municipal y estatal., del cual obtuvimos personal ocupado, remuneraciones, gastos por consumos de bienes y servicios, ingresos por suministro de bienes y servicios, producción bruta total, formación bruta de capital entre otras [23].

## IV. RESULTADOS

El crecimiento promedio de las importaciones del sector de autopartes plásticas del Estado de México es de 1.57% , la capacidad de absorción tecnológica es de 2.4 trabajador por hora, lo que representa que por cada trabajador calificado existen 2.48 con educación básica (tabla II). El indicador CAT máximo fue 4.28. la producción medio fue de 53,134 piezas en el año 2020 y la antigüedad promedio fue de 4.7 años.

TABLA II. RESUMEN DE VARIABLES

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Crecimiento de las importaciones (Icrece)	1.577778	4.366	-9	5
Capacidad de absorción tecnológica (CAT)	2.482444	0.732	1.22	4.28

Producción (lprod)	53134.38	17948.87	8665	83115
Antigüedad de la empresa por tamaño (antigüedad)	4.755556	3.814	2	11

En la tabla III describimos las variables empleadas en el ejercicio empírico, el cual consiste en la estimación de la regresión cuantil del logaritmo de la tasa de crecimiento de las importaciones contra las variables independientes, logaritmo de producción, capacidad de absorción tecnológica, tamaño de empresa, antigüedad y la variable dicotómica que indica 1 cuanto las empresas tienen importaciones de insumos plásticos de origen chino y son bioplásticos o similares, y cero para otros casos. En particular, se estimaron cinco modelos utilizando la metodología de regresión cuantílica. Solo presentamos los datos obtenidos utilizando la mediana por dar estadísticos más representativos.

TABLA III. RESUMEN DE VARIABLES

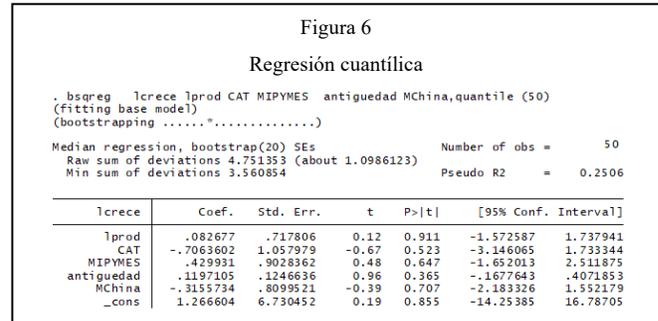
Variable	Signos esperados	Razón
Logaritmo de crecimiento de las importaciones (lcrece)		Variable dependiente
Capacidad de absorción tecnológica	Negativo	Al ser considerado el capital trabajo por el que se da la innovación a mayor crecimiento de las importaciones menos posibilidad de aprendizaje en el ámbito laboral.
Logaritmo de producción (lprod)	Negativo	Por la tendencia de la baja en la producción de la industria automotriz..
Antigüedad (antigüedad)	Positivo	A mayor cantidad de años de la empresa su posibilidad de buscar formas de innovación para implementar en su empresa se ven disminuidas o encuentra barreras de entrada.
Tamaño de empresa (MIPYMES, 1 para pequeña empresa y cero para cualquier otro caso)	Positivo	Confiamos que parte de la incursión de nuevas empresas de autopartes plásticas se ha dado para abastecer la presencia del mercado asiático.
Importaciones de origen chino (Mchina)	Positivo	Por la integración de la cadena de suministro.

La ecuación de regresión quedaría expresada como sigue:

$$lcrece = constante + lprod + CAT + MIPYME + antigüedad + Mchina + \mu \quad (2)$$

Donde  $\mu$  representa el error estocástico.

En la figura 6 presentamos los resultados de la regresión cuantil para el percentil 50 (mediana) las variables capacidad de absorción tecnológica (CAT) y la antigüedad de las empresas de autopartes plásticas en el Estado de México tienen una relación inversa y directa con el crecimiento de las



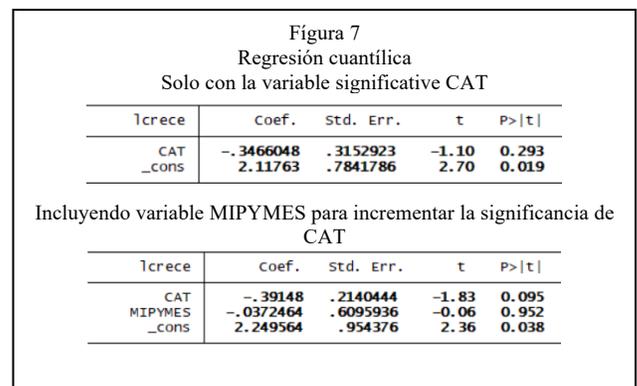
importaciones respectivamente.

Continuando con el análisis de la regresión cuantílica y sus coeficientes se aprecia que la producción se incrementa al aumentar las importaciones en 8% y que en promedio el 42% de las importaciones las absorbe las pequeñas y medianas empresas. Como esperábamos el signo de la variable dummy importaciones chinas resulto negativo, lo que nos muestra la integración de las empresas de autopartes con el mercado estadounidense o bien por el cumplimiento de las reglas de origen aplicadas al sector desde el año 2020.

Sustituyendo los valores promedios de cada una de las variables independientes en la ecuación tres y al resultado le aplicamos antilogaritmos y se multiplica por 100 (el valor de la ecuación cuatro), obtenemos la predicción del valor del crecimiento de las importaciones para el grupo de empresas estudiadas 50.7%.

$$lcrece = 1.266 + 0.082 lprod - 0.706CAT + 0.429MIPYME + 0.119 antigüedad - 0.31Mchina + \mu \quad (3)$$

$$lcrece = 0.507 \quad (4)$$



En la figura 7 mostramos la regresión cuantílica mediante el modelo más robusto dejando solo la variable CAT como independiente. El estadístico los estadísticos t, notoriamente aumenta su significancia, pero aún no es menor a 0.05. El modelo empírico propuesto sugiere que la capacidad de absorción tecnológica medida por el capital trabajo en la

regresión expresada en la ecuación 4, disminuye en 0.70, lo que nos puede sugerir que al incrementarse las importaciones de las empresas de autopartes tienen pocas posibilidades de apropiarse de la nueva tecnología (en nuestro caso el bioplásticos) lo cual traería como consecuencia una mayor dependencia del sector de resinas sintéticas y alternativas provenientes de Estados Unidos de América (EUA) y China.

## V. REFLEXIONES FINALES

A las pequeñas y medianas empresas les representa un costo adicional implementar medidas adicionales que le permitan adoptar buenas prácticas de sustentabilidad. La relación costo efectividad y la flexibilidad en la especialización son elementos claves para garantizar su competitividad. Las pequeñas empresas son por naturaleza emprendedores como lo hemos podido comprobar con las empresas de autopartes plásticas, que conforme menos años en el sector importan menos resinas plásticas. Por otra parte, observamos que para complementar más el estudio se requiere conocer cual es el proceso de adopción tecnológico de las empresas si es que lo tienen formalmente, para saber si ellas son capaces de adaptarse a los requerimientos de mercado y si también tienen un compromiso con el medio ambiente, creemos que la creación de estrategias inteligentes y una menor dependencia a los insumos le permita afrontar los cambios que demanda el mercado europeo y el estadounidense.

Dentro de las muchas limitaciones que puede tener esta investigación nos gustaría destacar el hecho de que para poder correlacionar la relación entre capacidad de absorción tecnológica y la dependencia de las importaciones se deberá estimar la elasticidad sustitución de las importaciones de resinas plásticas vs los bioplásticos o alternativas amigables.

## REFERENCIAS

[1] Daimler. Mercedes-Benz At "Mondial De L'automobile 2016". Daimler. 2016. Sitio web: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=13886586&ls=L2VuL2luc3RhbmNIL2tvLnhodG1sP29pZD0xMzY3ODc0MiZib3JkZXJzPXRydWU!>

[2] Sehoon Kim, Timothy Paul Connerton, Cheongyeul Park. "Exploring the impact of technological disruptions in the automotive retail: A futures studies and systems thinking approach based on causal layered analysis and causal loop diagram". *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 172, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121024>.

[3] Carlier, Matilde. "COVID-19 consumer sentiment-purchase intent for automobiles". 5 de agosto de 2020 Sitio web: <https://www.statista.com/statistics/1105316/consumers-whose-spend-on-cars-will-change-due-to-coronavirus/>

[4] Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA) "COVID-19: Jobs of over 1.1 million EU automobile workers affected so far, data showsd" 2020, 31 de marzo.

[5] Deloitte. Perspectiva industrial. Industria automotriz. Ecodesign.2021. Sitio web, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf>

[6] Carrillo, J., y Matus, M.. "Will the Mexican auto parts maquilas be able to transit to I4. 0?". *Paradigma económico. Revista de economía regional y sectorial*, 2020. 12(2), 39-61. Sitio web. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4315/431564346003/431564346003.pdf>

[7] Arteaga, G. A., Marcial, F. A., & Ortíz, V. S. El T-MEC y las perspectivas en México de la industria automotriz China. *Comercio Exterior Bancomext*, (octubre-diciembre de 2020) 1-22. Sitio web <https://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=844&t=el-t-mec-y-las-perspectivas-en-mexico-de-la-industria-automotriz-china>

[8] Dussel, Enrique, Directorio de empresas chinas y de instituciones mexicanas vinculadas con China en la Ciudad de México, México, UNAM/CECIMEX, 2019. Sitio web: [https://dusselpeters.com/CECHIMEX/Directorio\\_Empresas\\_Cechimex\\_2019\\_2.pdf](https://dusselpeters.com/CECHIMEX/Directorio_Empresas_Cechimex_2019_2.pdf)

[9] Gachúz, J. C., y Montes, M. P. "The Automotive Industry in Mexico and China. *Latin American*" en *Journal of Trade Policy*,3(6), 2020, 68-86. DOI:10.5354/0719-9368.2020.57168.

[10] Castañeda, Carlos Alberto Frago. "La competencia de las exportaciones de Estados Unidos y China en el segmento de autopartes mexicano de 2000 a 2017." Centro de Estudios China-México. Universidad Nacional Autónoma de México: México. 2019, 97pp. Sitio web: [https://dusselpeters.com/CECHIMEX/Revista\\_Cchmx\\_2\\_2019.pdf](https://dusselpeters.com/CECHIMEX/Revista_Cchmx_2_2019.pdf)

[11] Deloitte. Estudio Global de Consumidores Automotrices, 2021. Sitio web: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/manufacturing/articles/estudio-consumidor-automotriz-2021.html>

[12] Comunidad Económica Europea. Cumbre Bruselas 2021. Junio 15. Sitio Web: <https://www.consilium.europa.eu/es/meetings/international-summit/2021/06/15/>

[13] Díaz, A. . distribución porcentual de la capacidad de producción de bioplásticos a nivel mundial en 2019, por región. Sitio web. <https://es.statista.com/estadisticas/1125475/capacidad-global-de-produccion-de-bioplasticos-por-region/>

[14] Walter Leal Filho, Amanda Lange Salvia, Alessandra Bonoli, Ulla A. Saari, Viktoria Voronova, Marija Klõga, Sonali Suraj Kumbhar, Katharina Olszewski, Daniela Müller De Quevedo, Jelena Barbir, "An assessment of attitudes towards plastics and bioplastics in Europe". *Science of The Total Environment*, Volume 755, Part 1, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142732>.

[15] Markit, I. H. S.. IHS Markit.CIPS UK manufacturing PMI(2019), 146pp.

[16] Carrillo, J., Mortimore, M., y Estrada, J. A. El impacto de las empresas transnacionales en la reestructuración industrial de México: el caso de las industrias de partes para vehículos y de televisores. 1998

[17] Taku, O. Nueva regla de origen en el T-MEC. *Comercio Exterior Bancomext*, 2020. 1-24. Sitio web: <https://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=862&t=nueva-regla-de-origen-en-el-t-mec>

[18] Banco de México. La balanza de pagos anual. 21 de mayo, de Banco de México Sitio web: <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/balanza-de-pagos/balanza-pagos-comercio-invers.html>. 2020.

[19] Universidad Nacional Autónoma de México. Sistema armonizado y la clasificación de mercancías. 2017. Sitio web: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/218/8.pdf>

[20] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Balanza Comercial. abril de 2020, Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/programas/comext/default.html#Tabulados>

[21] Tratado de Libre Comercio México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC). Capítulo 4. Reglas de Origen. En *Textos Finales del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá*. 2020. Sitio web. <https://www.gob.mx/t-mec/acciones-y-programas/textos-finales-del-tratado-entre-mexico-estados-unidos-y-canada-t-mec-202730>

[22] Aguirre, K. M. N., Vázquez, J. C., Villaseñor, C. C., de la Peña, R. F., y Garza, J. M. Renegociación del TLCAN y su efecto en la industria de autopartes en México. *RAN: Revista Academia & Negocios*, 5(1), 2019, 85-98.

- [23] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Sistema Automatizado de Información Censal, (SAIC). 10 de abril del 2020. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/app/saic/default.html>
- [24] Porter, M., y Siggelkow, N. Contextuality within activity systems and sustainability of competitive advantage. *Academy of Management Perspectives*, 22(2),2008, 34-56.
- [25] Olea-Miranda, J., Contreras, O. F., y Barcelo-Valenzuela, M. “Las capacidades de absorción del conocimiento como ventajas competitivas para la inserción de pymes en cadenas globales de valor”. En: *Estudios gerenciales*, 32(139), 127-136.
- [26] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENU, octubre de 2020. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denu/> consultado el 1 de octubre.



# **Método de desarrollo de una APP de control de inventarios**

Claudia Tinajero Ramírez, Sandra Téllez Vázquez,  
Diego Fernández-Soto.

# MÉTODO DE DESARROLLO DE UNA APP DE CONTROL DE INVENTARIOS

M.C.P. Claudia Tinajero Ramírez  
Ingeniería en Logística y Transporte  
Universidad Politécnica de Guanajuato, UPG  
Cortázar, Gto., México  
[ctinajero@upgto.edu.mx](mailto:ctinajero@upgto.edu.mx)

M.I.I. Diego Fernández-Soto  
Ingeniería en Logística y Transporte  
Universidad Politécnica de Guanajuato, UPG  
Cortázar, Gto., México  
[dfernandez@upgto.edu.mx](mailto:dfernandez@upgto.edu.mx)

M.C. Sandra Téllez Vázquez  
Ingeniería en Logística y Transporte  
Universidad Politécnica de Guanajuato, UPG  
Cortázar, Gto., México  
[stellez@upgto.edu.mx](mailto:stellez@upgto.edu.mx)

**Resumen:** *En el presente trabajo se muestra el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles para la gestión de entradas y salidas de material del almacén en una empresa manufacturera de la región laja bajo. La aplicación permite al usuario realizar el registro de los materiales con los que trabaja la empresa, así como hacer el registro de los proveedores y empleados. La aplicación cuenta con el registro de usuario, para controlar los movimientos que se producen; desde que un material llega al almacén, así como controlar la cantidad de material de salida por producción. Proporcionando funciones concretas de la gestión de almacén como lo es el control del stock mínimo que mediante una notificación dará aviso cuando un material llegue al mínimo y así evitar la falta de material y el paro de producción. La aportación de esta investigación es el desarrollo de una aplicación para facilitar la gestión de inventarios a las MiPymes que muchas veces no cuentan con el capital necesario para invertir en software para gestión de inventarios, lo cual los pone en desventaja frente a otro competidores, por ello, se inició con un análisis de estandarización de procesos para posteriormente desarrollar la aplicación en un sistema Android, lo que permitió disminuir 50% de los problemas de entrega de materias primas a producción, y 90% de los errores que se presentan en la preparación de pedidos en el almacén, facilitando con esto la operación y gestión del inventario, así como la mejora en la logística de abastecimiento interna en las líneas de producción.*

**Palabras clave:** *Inventarios, App, logística.*

## I. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y Medianas empresas (PyMES), en México constituyen un sector sumamente importante en la economía. De acuerdo con los datos estadísticos presentados por el INEGI de la encuesta nacional sobre productividad y competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas (ENAPROCE 2018), había un total de 111 mil 958 Pequeñas y Medianas Empresas, con una participación de 2.7 por ciento en el mercado. El 95.4% de estas empresas no participa en cadenas globales de valor, y un 34.8% de éstas señala que se debe a que no tienen información de cómo hacerlo. Resalta que un 19.1%

considera que no es necesario y a un 15.5% no le interesa participar en dichas cadenas [1].

En este sentido uno de los principales aspectos que debe considerar una PyME es definir de manera adecuada la cadena de valor en la organización, tomando en cuenta que las actividades asociadas generan costos que incrementan el valor del producto ofertado al cliente, por ello se deben analizar de funciones de valor añadido que permita cumplir de manera eficaz con los objetivos de la logística de entrada y salida, así como las operaciones de almacén que contribuyan a una buena planificación de la recepción y ejecución de los materiales.

Por ello debemos entender con claridad la función de los siguientes conceptos. El almacén es una instalación destinada al almacenamiento, manipulación y conservación de mercancías, equipada tecnológicamente para estos fines [5]. El almacén es el local, área o espacio, ubicado adecuado y estratégicamente donde se guardan los diferentes tipos de materiales necesarios para la buena marcha y operatividad de la organización [6]. Los almacenes, aunque son un mal necesario brindan algunas ventajas, ya que: permiten una mejor organización en la distribución de mercancías, posibilita una correcta conservación de productos, posibilitan una utilización racional de la técnica y en algunos casos son parte del proceso productivo. La función del almacenamiento se enfoca en dos aspectos principales: Preservar la calidad de los productos desde que se internan en el almacén hasta que salen para ser usados como materias primas en producción o para ser vendidos como productos terminados. La segunda función se refiere al hecho de mantener siempre en correspondencia las existencias físicas con las existencias registradas en tarjetas o en sistemas electrónicos [7]. Los problemas comunes en los almacenes son los siguientes: Falta de espacio, debido a que los almacenes se convierten en el reducto a donde va a parar todo lo que se desecha en los demás departamentos de una empresa. Desbalanceo de las existencias, con frecuencia la mercancía no está colocada en orden a la demanda. Los efectos de un mal control de inventarios saltan a la vista, pudiendo enunciarse

algunos como: robos, pérdidas en los artículos almacenados derivados del deterioro, así como la obsolescencia, fallas en el suministro a los clientes y fabricación y el esfuerzo del personal para localizar los artículos [8].

En este sentido, se define el inventario como: una cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer una demanda futura. El inventario es un "amortiguador" entre dos procesos: el abastecimiento y la demanda. El proceso de abastecimiento contribuye con bienes al inventario, mientras que la demanda consume el mismo inventario. El inventario es necesario debido a las diferencias en las tasas y los tiempos entre el abastecimiento y la demanda, y esta diferencia se puede atribuir tanto a factores internos como externos [4].

En un análisis de la preparación de las empresas en TIC's en México específicamente para la zona del bajío hay una fuerte diferencia entre empresas de diferentes tamaños. Con respecto a la disponibilidad de recursos tecnológicos y humanos, la disponibilidad aumenta con el tamaño de la empresa. Con respecto a la implementación de las tecnologías de la información, la diferencia se da más bien entre las MiPyME, por un lado, y la empresa grande, por otro [3].

Es por ello que actualmente las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC's), se han convertido en un medio para aumentar la eficacia y eficiencia en el manejo y control de almacenes. La gestión de almacenes es un proceso clave que busca regular los flujos entre la oferta y la demanda, optimizar los costos de producción y satisfacer los requerimientos de ciertos procesos productivos [2]. Revisar de manera integrada el grado de aplicación de estas TIC's en la gestión de almacenes como medio para mejorar su planeación, ejecución y control es muy importante debido a que la Cadena de Suministro se ha convertido en un concepto fundamental para que las empresas mejoren sus relaciones con los clientes y proveedores y alcancen una ventaja competitiva [12] .

Así mismo, la logística de entrada adquiere una importancia cada vez mayor en las operaciones minoristas, porque generalmente existen ineficiencias ocultas que contribuyen a mayores costos laborales y más tiempo dedicado a los procedimientos habituales en los almacenes [13]; por lo que hoy día existen diversas tecnologías que pueden apoyar a mejorar las operaciones y gestión de un almacén [14], tal como lo menciona [12] las principales TIC's aplicadas a esta logística interna, son: el ERP (Enterprise Resource Planning), WMS (Warehouse Management System), LMS (Labor Management System), Pick to Light-Voice, OMS (Order Management System), YMS (Yard Management System), Código de Barras, RFID (Radio Frequency Identification), SCE (Supply Chain Execution), las cuales suelen ser de poco acceso para las MiPymes debido a los costos que implica su adquisición e implementación.

Por otro lado, existen diversas maneras para empezar con el desarrollo de aplicaciones en la gestión de los inventarios, una de ellas es Android que permitan el control y administración del almacén desde un teléfono móvil, por lo que es importante conocer como está estructurado este sistema operativo. La

arquitectura de Android está formada por varios niveles o capas lo que facilita el desarrollo de las aplicaciones que permite trabajar con las capas inferiores por medio de las librerías evitando programar a bajo nivel y lograr que los componentes de hardware del dispositivo móvil interactúen con la aplicación [4].

## II. METODOLOGÍA

La aportación de esta investigación es el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles para la gestión de entradas y salidas de material del almacén en una empresa manufacturera de la región Laja Bajío. La aplicación permite al usuario hacer el registro de los materiales con los que trabaja la empresa, así como hacer el registro de los proveedores y empleados.

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de la secuencia de los requerimientos establecidos por la empresa manufacturera para desarrollar la aplicación.

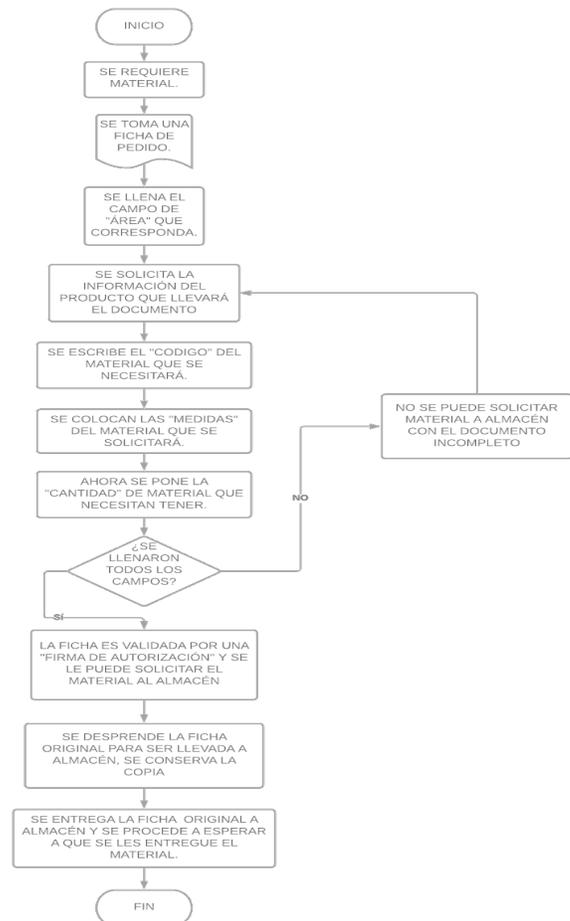


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso de Solicitud de materia prima del área de producción al almacén.

La aplicación cuenta con el registro de usuario, para controlar los movimientos que se producen; desde que un

material llega al almacén, así como controlar la cantidad de material de salida por producción.

Para el desarrollo primeramente se definieron las necesidades potenciales del negocio para definir los alcances de la aplicación. Se desarrolló el modelo preliminar de la aplicación con algunos códigos de producto para correr las pruebas y validar la aplicación. En la tabla I se muestran los pasos del método que está basado en las etapas para realizar la aplicación y la prueba de la aplicación en la MiPyme.

TABLA I. MÉTODO PARA REALIZAR EL DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Etapa	Actividad
Paso 1.	Definir el sistema de aplicación para desarrollar la App
Paso 2.	Establecer alcances y limitaciones de la investigación
Paso 3.	Analizar las variables de entrada
Paso 4.	Desarrollar el modelo de la App
Paso 5.	Correr las pruebas
Paso 6.	Validar la aplicación

A continuación, se desarrolla cada una de las etapas:

*Paso 1. Definir el sistema de aplicación para desarrollar la App.* Se ha seleccionado que el sistema operativo más factible para desarrollar la aplicación es Android.

El Sistema operativo empleado para desarrollar aplicaciones en dispositivos móviles, por lo general con pantalla táctil. De este modo, es posible encontrar tabletas, teléfonos móviles (celulares) y relojes equipados con Android. Es un sistema operativo de código abierto para dispositivos móviles, se programa principalmente en Java y su núcleo está basado en Linux. Una forma de asegurar que las aplicaciones demuestren un rendimiento óptimo en un dispositivo determinado es desarrollar la aplicación (App) de forma nativa en este dispositivo [9]. Las aplicaciones básicas tienen las siguientes ventajas: simplicidad, facilidad de venta, gran cantidad de usuarios potenciales. Como desventajas, poca o casi nula capacidad de procesamiento del contexto, muy baja complejidad de las aplicaciones realizadas y limitaciones impuestas por la tecnología sobre los diseños de las aplicaciones [10].

*Paso 2. Establecer alcances y limitaciones de la investigación*

Para el desarrollo una aplicación para dispositivos móviles para la gestión de entradas y salidas de material del almacén en una empresa manufacturera de la región Laja Bajío; se ha considerado que la aplicación permita al usuario hacer el registro de los materiales con los que trabaja la empresa, así como hacer el registro de los proveedores y empleados. La aplicación cuenta con el registro de usuario, para controlar los

movimientos que se producen; desde que un material llega al almacén, así como controlar la cantidad de material de salida por producción. Proporcionando funciones concretas de la gestión de almacén como lo es el control del stock mínimo que mediante una notificación dará aviso cuando un material llegue al mínimo y así evitar la falta de material y el paro de producción.

*Paso 3. Analizar las variables de entrada*

Se muestran las variables de entrada del paso 1, para la aplicación y la prueba de la aplicación en una MiPyme en la Tabla II.

TABLA II. VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE LA APLICACIÓN

Variables de entrada	Del Material	Del Empleado	Del Proveedor
	Código del material	ID del empleado	ID del proveedor
	Descripción	Nombre	Nombre
	Medidas	Teléfono	Empresa
	Resistencia		Correo
	Proveedor		Teléfono
	Stock mínimo		
	Cantidad en existencia		
	Cantidad de entrada		
	Cantidad de salida		

Se definieron las variables en función del análisis realizado para saber cuáles eran las variables de entrada significativas para la empresa.

La mayoría de las MiPymes tiene la necesidad de desarrollar infraestructura y aprovechando los avances tecnológicos se definen las variables para desarrollar una App para dispositivos móviles con sistema operativo Android, para el área del almacén que permita:

- a) Tener un mejor control con las entradas y las salidas de los materiales del almacén
- b) Disminuir el tiempo de entrega
- c) Disminuir la obsolescencia de los productos en stock

#### Paso 4. Desarrollo del modelo de la App

Se realizó un prototipo; recreando lo mejor posible las fases iniciales del escenario al que se pretende llegar, detectando posibles fallos o problemas que pudieran aparecer antes de iniciar su desarrollo. Esto, creando modelos iniciales de la pantalla de la aplicación para ver su estructura y la información que se pretende se muestre.

Se genera el ícono de la aplicación, y la primera pantalla visible cuando se inicia la aplicación. Se empezaron a crear tablas y la primera fue la de los empleados; donde se solicita el ID del empleado, su nombre y su teléfono. Para los proveedores, se solicita el ID del proveedor, el nombre, la empresa, el correo y el teléfono. Para lo correspondiente al material se solicita el código del material, descripción, medidas, resistencia, proveedor, stock mínimo, cantidad en existencia, cantidad de entrada, cantidad de salida.

Se crearon clases, para generar el constructor con una estructura que contenga parámetros que harán referencia para crear la base de datos. Con las tablas generadas se utiliza la clase de utilidades la cual se llama, para crear cada una de las tablas. Los constructores son métodos especiales de una clase que se llama automáticamente con lo que se declara un objeto de esa clase y cuya función del constructor es reservar memoria e inicializar las variables.

Posteriormente se crearon los campos que van a tener la base de datos tanto para los empleados, proveedores, y materiales. Se creó un menú principal con cuatro botones que permiten cada uno realizar una actividad diferente tal como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Interfaz del menú principal

Se diseñó una interfaz en forma de menú, la cual cuenta con varios botones. Donde cada botón permite realizar una acción diferente. También dependiendo de cuál sea el botón que se oprime se permitirá: registrar el material donde se puede agregar el código; donde se declaran variables para ingresar los datos. Se utilizó una regla de validación para comprobar que todos los campos de la formulación se encuentran cargados. Si no es así, el botón no se habilita para poder registrar y además se encuentra un ícono en color rojo marcando el campo vacío. Por lo que se utiliza la condición IF para cada una de las variables que es en este caso si el campo es igual a cero se mandará directamente un error y no permitirá el registro. Completada la validación, se muestra un mensaje que indica que se ha registrado correctamente.

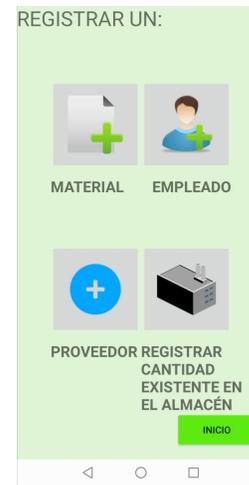


Figura 3. Interfaz del menú registrar

Para registrar al empleado se diseñó un formulario que consta de campos que permiten agregar un texto y cada campo retiene información como lo es: el ID del empleado, su nombre y su número de teléfono. Estos datos agregados se van almacenar en tablas. En la figura 4 se muestra la interfaz del formulario para registrar al empleado.



Figura 4. Interfaz del menú registrar empleado

Cuando se trata de un nuevo material se debe tener ya registrado con anterioridad a los proveedores por lo que se diseñó un comb-box desplegable que permite visualizar en forma de lista todos los proveedores que ya están registrados y sea más fácil para el usuario cargar dicha información sin la necesidad de volver a escribir el nombre del proveedor. Aquí se puede hacer una consulta de los proveedores registrados, los cuales se muestran en forma de lista. Todos los campos deben estar llenados, si no se encuentran completos, el botón no se habilita y se muestra un ícono de color rojo marcando el campo vacío. Por eso, se utiliza la condición IF para cada una de las variables que es en este caso, si el campo es igual a cero, se mandará un error y no te permitirá guardar el registro.

Si el usuario ya estaba registrado, no va a permitir la aplicación realizar un nuevo registro, ya que el ID no se puede duplicar aparece un mensaje avisando que el ID ya había sido registrado.

Para registrar al proveedor, igual se diseñó un formulario el cual permite registrar a los proveedores, el formulario consta de campos que permiten agregar un texto y cada campo retiene información como es el ID del proveedor, su nombre, el nombre de la empresa, un correo y su número de teléfono.



Figura 5. Interfaz del menú registrar proveedor

Se declaran variables que se van a utilizar en el formulario del proveedor, que serán utilizadas y se igualan a cada uno de los ID de los campos que se utilizaran en el formulario, con la finalidad de que al ingresar los datos por el usuario esta información quede almacenada en cada una de las variables para después ser utilizada en los siguientes códigos.

Se utilizó una regla de validación para comprobar que todos los campos del formulario se encuentran completos, si los campos no se encuentran completos no se habilitará el botón para poder registrar y además mostrará un icono en color rojo marcando el campo vacío. En esta parte del formulario se pide un correo, este, al igual debe ser validado. Si es una dirección de correo válida, lo permite, si el correo está mal no permitirá hacer el registro.

Utilizando una condición para cada una de las variables que es en este caso si el campo es igual a cero se mandará directamente un error y no te permitirá guardar el registro y al igual en la última condición si cada uno de los campos es diferente de cero permitirá hacer el registro.

Una vez que todo está validado como completo se inserta la información en la tabla y permite mostrar un mensaje que indica que se ha registrado correctamente. Además, se utiliza otra condición que es que, si el proveedor ya fue registrado, no se volverá a registrar evitando la duplicación de información.

Para registrar la cantidad existente, se diseñó el siguiente formulario, el cual permite registrar a la existencia del material, el formulario consta de campos que son editables que permiten agregar un texto y cada campo retiene

información como lo es : el código del material y los siguientes campos como lo es: descripción, medidas, resistencia y el nombre del proveedor, estos datos mencionados se obtendrán mediante una búsqueda por el código del material y los datos del stock mínimo y la cantidad existente van a ser editados por el usuario y almacenados en la tabla correspondiente.

Se declaran variables que se van a utilizar en el formulario de la existencia del material, estas serán utilizadas y se igualan a cada uno de los ID de los campos que se utilizaran en el formulario, con la finalidad de que al ingresar los datos por el usuario esta información quede almacenada en cada una de las variables para después ser utilizada en los siguientes códigos. Además, también deben conectarse a la base de datos porque se realiza una consulta de información y de esta manera se recupera o se extrae esa información.

Una vez que el material fue registrado o dado de alta, se debe de registrar la cantidad existente de material en el almacén. En el siguiente bloque de código se hace una consulta en la tabla de material, utilizando el código con el que se dio de alta la materia, la función de este método es obtener información del material por medio del código, por default debe arrojar información para comprobar que se está buscando el material correcto, la información por default sería: la descripción de material, las medidas, la resistencia y el proveedor.

Si se busca un material que no está dado de alta, aparecerá un mensaje que el material no existe. Mediante una regla de validación para comprobar que todos los campos de la formulación se encuentran llenados, si los campos no se encuentran completos no se habilitará el botón para poder registrar y además mostrará un icono en color rojo marcando el campo vacío.

Por eso, es utilizada una condición para cada una de las variables que es en este caso; si el campo es igual a cero se mandará directamente un error y no te permitirá guardar el registro. Si los campos se encuentran completos le permitirá hacer la inserción de la información agregada por el usuario.

#### *Paso 5: Correr las pruebas*

Menú de movimientos: Se diseñó una interfaz en forma de menú, la cual cuenta con dos botones, cada botón tiene una función principal. Estos botones realizan diferentes acciones que son importantes para la aplicación. En la primera imagen se muestra la interfaz del menú (movimientos).

Un código que es utilizado para cuando el usuario oprima cualquier botón lo pase a la siguiente pantalla segundo el botón se haya presionado.



Figura 6. Interfaz del menú para registrar entradas y salidas del material

Para registrar la cantidad de almacén a producción, se creó un formulario con dos campos los cuales serán editados por los usuarios. Este formulario permite consultar la información del material al buscarlo por código y así como también conocer la cantidad existente de material para poder restar la cantidad solicitada.



Figura 7. Interfaz del menú para registrar la cantidad de material que sale del almacén

La declaración de variables, el tipo de función que va a realizar, y la base de datos de las entradas existentes permitirá que se vaya actualizando la disposición del material.

Cuando se declaran las variables que serán utilizadas para el formulario de la salida del material, las variables se igualan a cada uno de los ID de los campos que se utilizaran en el formulario, con la finalidad de que al ingresar los datos por el usuario esta información quede almacenada en cada una de las variables para después ser utilizada.

Cuando se resta el material, también aquí debemos buscarlos por el código, siendo una forma más práctica.

En la siguiente imagen de código se hace una consulta de los datos almacenados en la tabla ENTRADAS por medio del código o folio, una vez ingresado el folio del material se presiona el botón buscar y por default debe de mostrar la información cargada y se visualizará en la pantalla para saber si es el material que se está buscando.

Se crea un vínculo con el botón guardar. En el botón guarda varias condiciones y operaciones para poder realizar un registro correcto. Una vez consultada la información anteriormente se utiliza un dato que es la existencia del material y al igual se utiliza otro campo que es editado por el usuario donde se escribe la cantidad de material a solicitar.

Una vez que el usuario registre la cantidad solicitada ocurre que:

- Se debe de comprobar que la cantidad solicitada sea menor a la cantidad existente, si la cantidad excede de la existente se mostrará un diálogo y no se guardará el registro hasta ser modificada la cantidad solicitada.
- Además, se debe de evitar que el material se llegue al mínimo por lo cual se implementa una condición (si la cantidad existente es menor al stock mínimo), si esta condición se cumple entonces debe mostrar una notificación en la barra de estado del teléfono del usuario, mostrando el código y la descripción del material el cual está llegando a la cantidad mínima.

Estas dos variables realizan la resta y se actualiza la tabla con la cantidad sustraída del material por parte de producción. Si la cantidad excede de la existente, aparece un diálogo si excede de la cantidad solicitada y una vez que se validó correctamente se ejecutan las líneas de código permitiendo la actualización de la cantidad en la tabla de entradas.

Para el stock mínimo se programó una notificación que es un mensaje mostrado en la barra de estados del dispositivo.

El método creado es utilizado para limpiar los campos una vez que el usuario presione el botón guardar, con la finalidad de que el usuario siga consultando y agregando más cantidad de material sin la necesidad de salir del formulario.

Una vez creado el método, las variables que se utilizan para almacenar los datos ingresados por el usuario. Este método permite limpiar los campos una vez que el usuario haya registrado.

Para registrar la cantidad de entrada de material se diseñó la interfaz la declaración de variables y así como también el tipo de función a utilizar, como también conectarnos a la base

de datos de las entradas existentes ya que ahí se irá actualizando la cantidad.

Declaradas las variables que se van a utilizar, se igualan las variables a cada uno de los ID correspondientes de los campos para almacenar la información cargada por el usuario. Cuando se va a sumar más materia, también aquí debemos buscarlos por el código, siendo una forma más práctica.

Se hace una consulta de los datos almacenados en la tabla por medio del código o folio, una vez ingresado el folio del material se presiona el botón buscar y por default debe de mostrar la información cargada en la pantalla para saber si es el material que se está buscando.

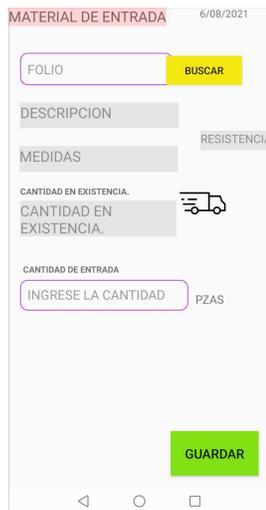


Figura 8. Interfaz para registrar la cantidad de material

Una vez consultada la información se tomará el dato de la cantidad en existencia. Se debe mostrar la operación de suma, en la operación de la suma se necesitan dos valores que es la cantidad en existencia del material y la cantidad que el proveedor va a surtir para poder realizar la suma de material.

Se hace una validación para que se compruebe si los campos están completos para poder hacer el registro. Se ha creado un método que es utilizado para limpiar los campos una vez que el usuario presione el botón guardar, con la finalidad de que el usuario siga consultando y agregando más cantidad de material sin la necesidad de salir del formulario.

Las variables que se utilizan para almacenar los datos ingresados por el usuario permite limpiar los campos una vez que el usuario haya registrado. Para el botón salir en el menú principal, es un botón que permite salir de la aplicación directamente.

### III. RESULTADOS

Se muestra el funcionamiento de la aplicación ya previamente cargada en un dispositivo móvil.

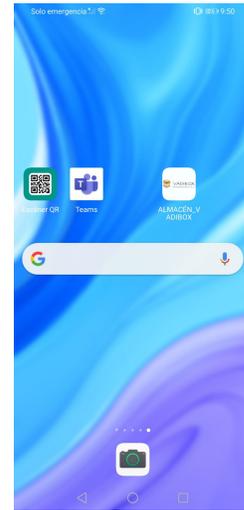


Figura 9. Icono en el dispositivo

#### MENÚ PRINCIPAL

Este el menú principal donde se van a encontrar 4 diferentes botones cada uno de ellos tiene una función diferente. 1. Registrar empleados, proveedores, materiales y la cantidad de existencia de material, 2. Registrar los movimientos como lo es las entradas y salidas de material, 3. Almacén se van a mostrar las tablas, 4. Botón salir de la aplicación.



Figura 10. Icono en el dispositivo

#### Botón registrar (menú)

Este el menú principal donde se van a encontrar 4 diferentes botones cada uno de ellos tiene una función diferente. 1. Registrar materiales, 2. Registrar empleados, 3. Registrar proveedores, 4. Registrar la cantidad de existencia de material.



Figura 11. Menú para registrar materiales, empleados, proveedores y cantidad de material existente



Figura 13. Demostración de Validación

### Registrar un proveedor

Para realizar la prueba en la aplicación realizamos una tabla con datos de los proveedores para hacer los registros.



Figura 12. Registrar al proveedor para probar la aplicación

Cada que se registra un proveedor, en la parte inferior de la pantalla aparece la leyenda “REGISTRADO CORRECTAMENTE”.

### Validación

Si los campos no están completos aparecerá lo siguiente.

### Registrar un material



Figura 14. Registrar el material

Cada que se registra un material, en la parte inferior de la pantalla aparece la leyenda “MATERIAL REGISTRADO”

### Validación

Si los campos no están completos aparecerá lo siguiente y no permitirá guardar el registro y así como también si el material ya fue registrado no permitirá hacer el registro.



Figura 15. Validación para campos completos

### Registrar la cantidad de existencia de los materiales



Figura 16. Registrar el stock mínimo de 500, con una cantidad existente de 2850 piezas de material

Cada que se registra un material, en la parte inferior de la pantalla aparece la leyenda “REGISTRO y el número de registro”.

Si se busca un material que no fue dado de alta o no se escribe el código correcto aparecerá lo siguiente.

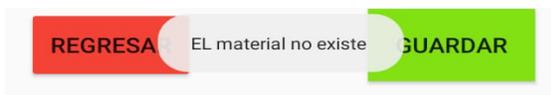


Figura 17. Mensaje que indica que el material no existe

### Validación

Si los campos no están completos aparecerá lo siguiente y no permitirá guardar el registro y así como también si el material ya se le registro una cantidad inicial no permitirá hacer el registro.



Figura 18. Validación de que los campos están completos

### Botón de Movimientos

Sección donde se van a estar registrando las entradas y salidas de material.



Figura 19. Registra las entradas y salidas del material

### Registrar cantidad de almacén a producción (salida)

El siguiente formulario está diseñado para ingresar la cantidad de material que producción pide al almacén, primero se busca el código del material, se verifica que sea el correcto y se le agrega la cantidad de salida que pide producción.

### Registrar cantidad de almacén a producción (salida)

En el siguiente formulario está diseñado para ingresar la cantidad de material que producción pide al almacén, primero se busca el código del material, se verifica que sea el

correcto y se le agrega la cantidad de salida que pide producción.

Figura 20. Formulario para registrar la salida

Cada que se registra la cantidad de salida, en la parte inferior de la pantalla aparece la leyenda “REGISTRADO”.

Si por ejemplo el usuario ingresa una cantidad que excede de la existente aparecerá un dialogo con el mensaje que se ha excedido de la cantidad. Como se muestra en la siguiente imagen.

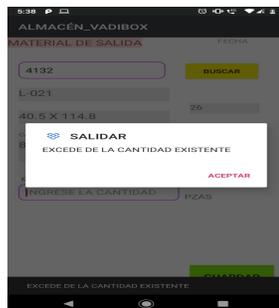


Figura 21. Mensaje que se excede la cantidad existente

El stock mínimo es un término utilizado en logística para describir el nivel extra de existencias que se mantienen en almacén para hacer frente a las variaciones de la demanda, suministro o producción. Por lo cual para evitar que haya una falta de material se creó una notificación que me avisará que llego a su stock mínimo.

Figura 22. Se muestra que cuando la cantidad llega a su stock mínimo, por lo que se envía una notificación.

### Registrar cantidad del proveedor al almacén (entrada)

En el siguiente formulario está diseñado para ingresar la cantidad de material que el proveedor le surte al almacén, primero se busca el código del material, se verifica que sea el correcto y se le agrega la cantidad.

Figura 23. Formulario para registrar la entrada de material

En las imágenes de lado izquierdo se muestra la cantidad que el proveedor surte al almacén y en las imágenes de lado derecho se realiza de nuevo la consulta para comprobar que se realizó la suma.



Figura 24. Registrar la cantidad de 150 piezas de material de entrada las cuales se adicionan a la cantidad previamente almacenada



Figura 25. Ahora el registro se muestra con 1000 piezas que resultaron de sumar 850 +150 piezas

**Botón de almacén (menú)**

En esta parte es donde se encuentran las tablas de los registros y así tener una mejor visualización de la información en forma de lista.

Se muestran 4 botones que permiten ir a la tabla según el nombre del botón se oprime.



Figura 26. Menú para consultar los registros que se han dado de alta

**BOTÓN SALIR**

Para finalizar el botón salir nos saca directamente de la aplicación sin ningún problema.

**IV. CONCLUSIONES**

Este Proyecto desarrolla e implementa una aplicación que cubre las actividades relacionadas con la gestión del almacén y facilita el trabajo de los usuarios a la hora de solicitar material y registra todos los materiales que maneja una empresa, así como también evitar el desabasto mantener niveles óptimos de stock y disminuir la obsolescencia de los productos almacenados.

Cabe destacar que los bloques de código no se publican completos pues la empresa solicita se mantenga de manera confidencial para futuros cambios y adecuaciones.

En la siguiente figura se muestra el tiempo en minutos ocupado en diferentes momentos y áreas del almacén. Seguido en tres diferentes días.

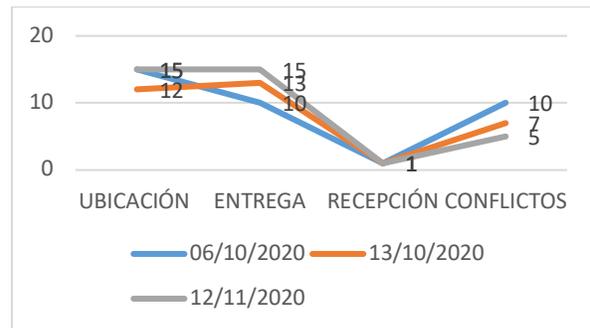


Figura 27. Tiempo en minutos antes de la implementación

Se puede comparar en la siguiente figura la disminución del tiempo en minutos ocupado una vez utilizada la aplicación en el área del almacén, principalmente en la ubicación y en los conflictos los cuales muestran una notable reducción de tiempo.

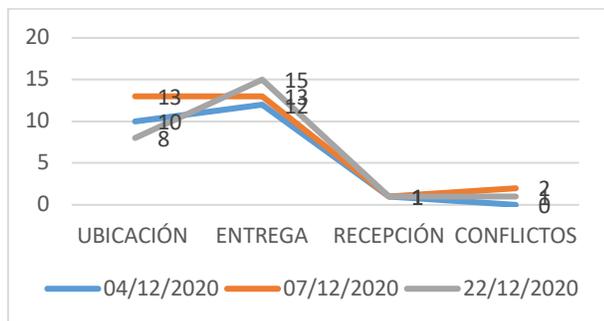


Figura 28. Tiempo en minutos antes de la implementación

Además, con esta aplicación se logra visualizar las existencias totales y controlar las entradas y salidas de la materia prima que para las PyMES representa gran apoyo a la digitalización de los procesos lo cual ayuda a la toma de decisiones, cabe mencionar que esta es la fase inicial del Proyecto ya que se continuará robusteciendo la aplicación con mayor detalle.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a el Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad del Estado de Guanajuato IDEA, por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto.

#### REFERENCIAS

[1] INEGI. (02 de Septiembre de 2019). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas*

*Empresas (ENAPROCE) 2018*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2018/>

[2] Correa Espinal, A. A., Gómez Montoya, R. A., & Cano Arenas, J. A. (2010). *Gestión de Almacenes Y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)*. *Estudios Gerenciales*.

[3] Hirsch, J., Almaraz Rodríguez, I., & Ríos Manríquez, M. (2015). La preparación de las empresas manufactureras del Estado de Querétaro, México, en el área de las tecnologías de información y comunicación. *Suma de negocios*, 166-177.

[4] Sipper, D., & Bulfin, R. L. (1998). *Planeación y control de*. México, D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

[5] Vico, Á. J. (2011). *La columna 80*. Obtenido de La columna 80: <https://columna80.wordpress.com/2011/02/17/arquitectura-de-android/>

[6] Muñoz, R. F. (2013). *Logística de Almacenes*. Habana: Mediateca RIMED.

[7] Rueda, C. A. (2018). *Gestión de Stocks y Almacenes*. Paraguay.

[8] Jorge Sierra, María Guzmán Ibarra, Francisco Garcí. (2015). *Administración de Almacenes y Control de Inventarios*. Enciclopedia virtual.

[9] Aznar, V. M. (2010). *Administración de Almacenes y Control*. México.

[10] TechTarget. (27 de Julio de 2017). *Desarrollo de aplicaciones móviles*.

[11] Juhani, L. (2010). *Android UI Design Patterns*.

[12] Becerra-González, et al, (2017). Implementación de las TIC's en la gestión de inventario dentro de la cadena de suministro. *Revista de iniciación científica*, Vol. 3, No.01.

[13] B. Sai Subrahmanya Tejesh, S. Neeraja (2018). Warehouse inventory management system using IoT and open source framework. *Alexandria Engineering Journal*.

[14] M.T. Pereira, et al, (2019). Localization System for Optimization of Picking in a Manual Warehouse. *Procedia Manufacturing*.



## **Artificial Intelligence through simulation: an approach from Smart Manufacturing in the assembly of automotive components**

Humberto García Castellanos, Frida Julieta Gallegos Méndez,  
Carlos Alberto Ochoa Zazzatti, Adrián Francisco Loera Castro.

# Artificial Intelligence through simulation: an approach from Smart Manufacturing in the assembly of automotive components

Humberto García Castellanos

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Tecnológico Nacional de México/IT Ciudad Juárez  
Ciudad Juárez, Chih. Mex.  
e-mail; humber.gc@itcj.edu.mx

Frida Julieta Gallegos Méndez \*

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Tecnológico Nacional de México/IT Ciudad Juárez  
Ciudad Juárez, Chih. Mex  
e-mail: m20112715@itcj.edu.mx

Carlos Alberto Ochoa Zazzatti

Departamento de Industrial y Manufactura  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Ciudad Juárez, Chih. Mex  
e-mail: Alberto.Ochoa@uacj.mx

Adrián Francisco Loera Castro

Division de Estudios de Posgrado e Investigacion  
Tecnologico Nacional de Mexico/IT Ciudad Juarez  
Ciudad Juarez, Chih. Mex.  
e-mail: adrian.lc@cdjuarez.tecnm.mx

\* Correspondent

**Abstract:** *Due to the growth of the automotive sector globally, the problem for the companies that comprise it is to enter into continuous improvement processes that satisfy the needs of its customers, clients' needs, and better market positioning. The above is impossible if the design and management of the supply chain are not good, the consideration of logistics issues, and the inclusion of innovative techniques that allow better results. This research focuses on a manufacturing cell in the automotive sector where seats are assembly. Workstations with cycle times vary from one working under the principle of flexible production regarding the types of seats processed on each machine. They are also changing depending on the time of day that the parts are processed. There are materialistic carts to move the production in the process from one workstation to another. There are waiting and blocking times for the machines when the optimal number of vehicles used to transfer materials and their capacity not used. This research aims to know the optimal point where any similar situation avoids the totals and quantity of materialistic carts. Technical formulations of mathematical simulation and optimization will use to solve the problem.*

**Keywords:** *Intelligent logistics; process simulation in the automotive industry; optimization in Smart Manufacturing; metaheuristics applied to the supply chain.*

## I. INTRODUCTION

In the current international context, it is essential to improve organizations' performance, taking into account the increasingly competitive environment in which various economic, political, and social factors converge. The automotive sector is becoming more robust globally as it is affected by a dizzying growth in demand and changes. In the organizational environment, among other factors, it immerses itself in continuous improvement that makes it possible to increase customer satisfaction and resort to innovative methods that restructure its processes, translating into profits for the organizations and better positioning in the

competitive market. (Restrepo, 2013). To achieve the correct use of the resources stained for the sector and reach the proposed goals' fulfillment. A good design and management of the supply chain play a fundamental role, composed of all the parts involved in satisfying a client's demand, whether it is a direct or indirect link. This way, it includes the manufacturer, suppliers, transporters, warehouse workers, retailers, and the client. Still, it is also composed of the functions carried out, such as marketing, operations carried out, distribution, finances, and customer service. A supply chain's main objective is to maximize the total value generated, understood as the difference between what the customer pays when receiving the final product and the costs incurred in its production. (Chopra & Meindl, 2013).

Within the supply chain, the issues related to logistics are fundamental since they link to most of the processes that are carried out and seen as the action of the labor collective aimed at guaranteeing the design and direction of the material, informational and financial flows from their sources of origin to their final destinations.

The destinations must execute in a rational and coordinated manner to provide the client with the products and services in the quantity, quality, time, costs, place, and the information demanded, with high competitiveness and guaranteeing the preservation of the environment.

## II. METHODOLOGY

Various factors influence the fact that the client is increasingly demanding in terms of the product's characteristics, which means that companies have to deal with significant challenges to meet the desired specifications and agreed delivery times, assuming multiple distribution channels; various means and modes of transport, short life cycles, and shorter deadlines for product delivery. In this sense, they regulate by increasing

customer specifications and the accelerated changes in the market. The life cycle of automotive vehicles is increasingly tending to be shorter. So, manufacturers force to launch a more significant number of car models following a massive customization strategy adopted by major vehicle manufacturers such as Volkswagen, BMW, or Tesla.

However, the degree of individualization of products is a challenge for today's factories, where flexible production systems offer alternatives to speed up production cycles and meet consumer needs. Figure 1 shows seats for Toyota Camry.

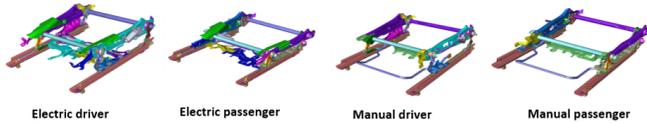


Fig. 1 Seats for Toyota Camry cars assembled in ADIENT. Source: Own elaboration.

The value stream map (VSM) shows in the figure 2, where the sequence of the process operations, the workstations present in the process, and the resources managed between them described.

There are 23 machines whose cycle times are not constant but vary among them, and they operate under the principle of flexible production. They process different parts according to the kinds of seats assembled: manual, electric, passenger, and driver, as shown in Table 1.

TABLE I SEAT VERSIONS PROCESSED BY THE WORKSTATIONS. SOURCE: OWN ELABORATION.

Work Station	Seating versions to be processed				
	Abbreviation	Manual	Electric	Passenger	Driver
Pivot Brkt Project	528			X	X
Pivot Brkt Project	528A			X	X
IB Passs Pivot Brkt Riveting	606			X	
Pivot Brkt Project DR RIVETING	528B				X
Power Torsion tube GMAW	530		X		
B-Brkt Project	623	X	X	X	X
B-Brkt Welding IB/OB GMAW	624	X	X	X	X
TORSION TUBE WELD GMAW	529			X	X

OB B Brkt Norton Bush	624A	X	X	X	X
Manual Track Riveting Rear Torsion Tube	603	X			
FTT PWR Pass/ Drv	604B		X	X	X
PIVOT Brkt Pass	605A			X	
Tilt Link Bushing	604A			X	X
FTT PWR DRIVER	604		X		X
Front Tube Rivet PASS	605			X	
FRONT & REAR OB PIVOT BRKT DRV BUSH	602A	X	X		X
FRONT & REAR OB PIVOT BRKT DRV RIVET	602	X	X		X
Pre-Assembly	Pre	X	X	X	X
Ring Retainer	RR	X	X	X	X
IB Front Pivot Weld GMAW	630			X	X
Pinion Brkt Press	600			X	X
H-Frame Assy	10, 20, 30		X	X	X
Final Assembly	FA	X	X	X	X

Also, individual machines' production is variable to time, i.e., the process, for example, parts for driver's seats at certain times of the day. In contrast, at other times, they process parts for passenger seats. These times are known and are not variable.

Some of the workstations are in charge of assembling and disassembling. That is to say, some of them receive several pieces, and only one comes out, or others receive one piece, and several come out.

Figure 2 shows a networked representation of the process analyzed where the working times, the machines that make up the process and the supermarket area, and the flow of materials shown.

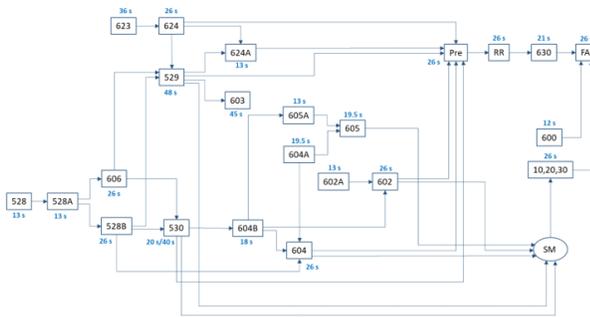


Fig. 2 Network representation of the analyzed process (representation of the VSM). Source: Own elaboration

The supermarket is a temporary warehouse near the work stations where operations occur to facilitate line supply, reduce delivery times and stoppages due to lack of material. The transfer of materials between the workstations and the supermarket is done using slides and materialistic carts that are pushed by operators. Figure 3 shows some of the vehicles used for the transfer of materials.



Fig. 3 Materialistic carts are used for the transfer of materials

Figure 4 shows the routes of the materialistic carts. There are currently waiting times and machine blockages caused by the transfer of materials in each of these routes.

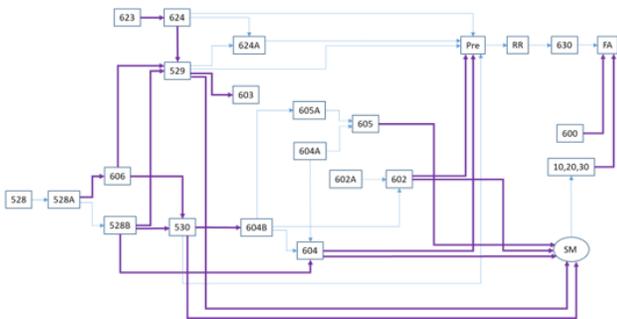


Fig. 4 Materialistic cart routes between workstation and the supermarket area. Source: Own elaboration

For example, the route of the machine 528A to 606 helped by using the SIEMENS Plant Simulation software in its version 14.1. the behavior of these workstations, the transfer of materials from one to another simulated to facilitate understanding the presented problem. For this purpose, the simulation model shown in Figure 5 is developed, taking the machines' actual cycle times.

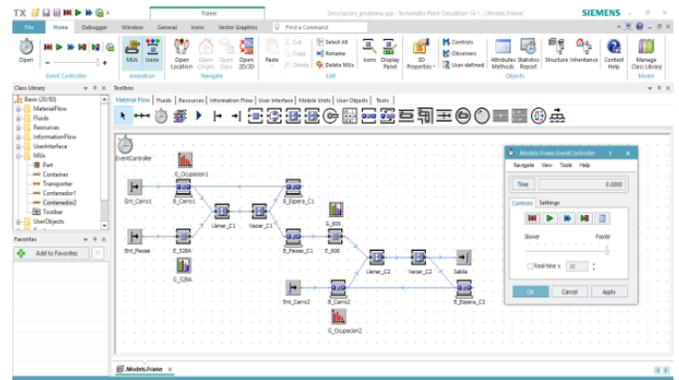


Fig. 5 Simulation model made of the route 528A-606. Source: Own elaboration

By making several runs of the simulation by varying the quantity of vehicles to be used between the two machines, the following results obtained: On the contrary, it is possible to make variations concerning the capacity of the vehicles, for example, by placing two carts with a quantity equal to 20 pieces. This placing eliminates the blocking time on the initial machine, as presented in Figure 6, but then a waiting time on the next workstation.



Fig. 6 Simulation results obtained with a vehicle with a capacity of 20 pieces. Source: Own elaboration

In general terms, it can see that the presence of blocking times in the initial machine and waiting times in the next machine translate into production line stoppages; and that the quantity of vehicles used on each route, as well as their capacity, has a direct effect on these times.

The following elements considered as assumptions and restrictions of the situation described so far:

- The stations can process parts for the different models at certain times; this information is known and not variable.
- The quantity of workstations and their working hours are known.
- In some machines, an assembly of parts is made (two elements from different devices enter an apparatus and a third obtains output).
- Some machines process different quantities of parts.
- The cycle times of the different workstations.
- To continue processing parts, a vehicle must be available at the machine to place the pieces already processed and then move them to the next station.

Hence, materialistic carts perform a mobile inventory function.

- The cart may not be available to place finished goods from a given station because it is at the next station performing its assortment or moving to or from the next station. The number of parts places in the vehicles cannot exceed their capacity.
- There are three established and non-variable routes; each route has an operator to make the trips and vehicles (a vehicle on one way cannot use on another).
- Not all routers have the same distance or travel time.
- An operator pushes the vehicle, so the cart's speed will be equal to the company's materialistic operators' average rate.
- The operator may not be available to move the materialistic trolley when making another run or on a break.
- Each materialist cart has a specific capacity, and there are different models of carts according to their ability.
- There is a transfer time between stations and a processing time per part on each machine.
- You have a vehicle loading time equal to each part's processing time to be moved on a given machine and an unloading time equivalent to each part's processing time on the next device.
- There is a time window for the machines, with their start defined by each station cycle time to process the number of parts received in the previous run, and their end by the cycle time to process the amounts received in the new run.
- The idle time for a machine, the materialist car arrives at the device after the beginning of the time window. It defines by the difference between the time the vehicle comes and the front of the time window.

The problem can then be summarized as follows:

The optimal number and capacities of materialistic cars needed in assembling ADIENT's Toyota Camry cars' seats are unknown. The availability of materialistic vehicles for loading and unloading material in the process is guaranteed at each work station, avoiding waiting and blocking times. A mathematical representation of the existing problem, a mathematical model, is an idealized representation of reality that reflects a given situation's synthesis. It comprises decision variables, an objective function formed by these variables' mathematical relationship and representing the objective to be maximized or minimized. And a series of restrictions limit or delimit the values of the variables according to the conditions of the situation formulated (J. R. Do Rego y M. A. De Mesquita, 2015).

### III. VEHICLE ROUTING PROBLEMS

When analyzing the mathematical formulation of this type of problem, it is seen that in its objective function, represented in Equation 1, the  $c_{ij}$  component can represent times, distances, or costs itself. At the same time,  $x_{ij}$  is a binary variable indicating whether or not a particular route is chosen. The objective function then represents the cost of going from vertex  $i$  to  $j$  if that path chose, and as a result, a way would obtain.

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ij} \quad X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (1)$$

Equation 1. Source: (Y.- Q. Rao, M.- C. Wang, K.- P. Wang y T.- M. Wu, 2013)

When performing an analysis of the general transport problem's mathematical formulation, represented in Equation 2, one realizes that the  $c_{ij}$  component can equally mean times, distances, or costs itself. At the same time,  $x_{ij}$  is a binary variable that indicates the flow that occurs on a given route. Hence, the objective function represents the cost of flow that happens to go from vertex  $i$  to  $j$ . o, leading to the problem studied.

It would mean the blockage and waiting times that occur in each route traveled by the materialistic cars. The first restriction guarantees origin's resources (if) are distributed to the destinations, while the second ensures each goal's demands.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}, \quad (2)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = S_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = d_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n,$$

y

$$X_{ij} \geq 0, \quad \text{for all } i \& j$$

Equation 2. A mathematical formulation represents the general transport problem. Source: (Hillier & Lieberman, 2010).

#### A. Dataset used

A study made of the facility where the research is carried out and the process being analyzed, collecting all the necessary data to understand the analyzed situation. The cycle times are described in Table II, and the data are contained in Table I and Figures 2 and 4.

TABLE II CYCLE TIMES OF THE MACHINES INVOLVED IN THE PROCESS. SOURCE: OWN ELABORATION.

Machines	5 2 8	5 2 8 A	6 0 6	5 2 8 B	5 3 0	6 2 3	6 2 4	5 2 9	6 2 4 A	6 0 3	6 0 4 B	6 0 5 A
Time (seconds)	1 3	1 3	2 6	2 6	2 0/ 4 0	3 6	2 6	4 8	1 3	4 5	1 8	1 3
Machines	6 0 4 A	6 0 4	6 0 5	6 0 2 A	6 0 2	P r e	R R	6 3 0	6 0 0	1 0 0 2 0 3 0	F A	
Time (seconds)	1 9 5	2 6	1 9. 5	1 3	2 6	2 6	2 6	2 1	1 2	2 6	2 6	

#### IV. CONSTRUCTION OF THE SIMULATION MODEL.

Once the necessary information is collected, the process simulates to analyze its current behavior using SIEMENS Plant Simulation software version 14.1.

When carrying out a literature review, several works carried out that take as a basis the use of tools such as simulation and VSM individually or in a combined way, obtaining good results when carrying out their application as independent tools. Still, there are divergent points of view regarding achieving satisfactory results when carrying out a combination of both techniques. (Sa'udah, Amit, & Nazri Ali, 2015), It used as a simulation model combined with VSM as represented in Figure 7, so it is explicitly used the VSM object library in its version 13.0.17 within the simulation software. The use of this library allows the simulation of the VSM of the analyzed process, providing the possibility of visualizing and analyzing changes that may occur in the map represented and the effects that they may cause.

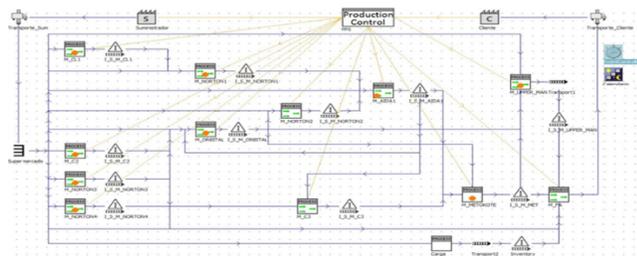


Fig. 7 A simulation model combined with VSM. Source: Own elaboration.

Subsequently, the simulation carried is validated against the actual situation, considering that the model obtained must be adjusted to correct any inconsistencies with the proposed model.

the simulation carried out is validated against the real situation, considering that the model obtained must be adjusted to correct any inconsistencies with the proposed model. The Figure 8 and 9 shows the representation of the model in the simulator.

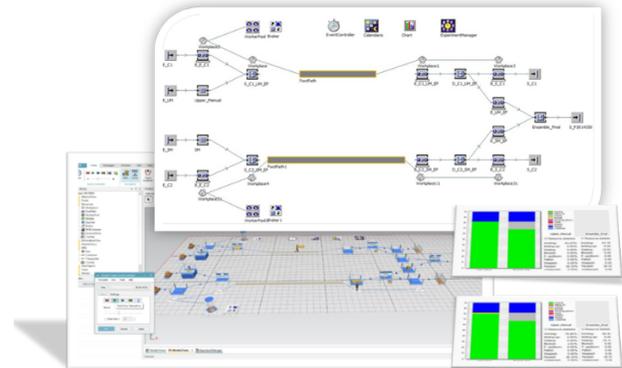


Fig. 8 Simulation model without the use of the VSM library. Source: Own elaboration.

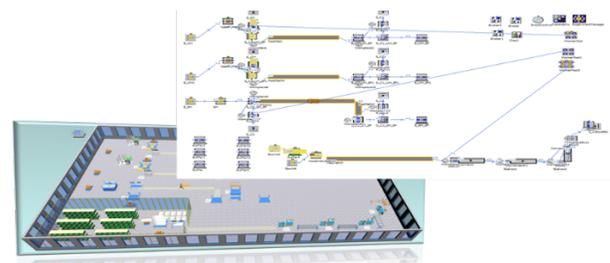


Fig. 9 Advances in the simulation model of the process studied. Source: Own elaboration.

#### V. RESULTS OF OUR MODELS

Table III shows the data used to perform a simple financial analysis to facilitate decision-making between the two variants. For this purpose, the increase of materials cars concerning the current situation considered (135 for experiment 12 and 127 for experiment 17) and the company's cost to acquire each of them, mentioned in previous sections, is \$150,000.00. This case implies that the International Congress of Logistics and Supply Chain (CiLOG) Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. (AML) would have to invest for the variants proposed in experiments 12 and 17 a total of \$20, 372,500.00 and \$19, 097,500.00 respectively. For seats produced by day, its increase was considered in both variants: 137 for experiment 12 between 124 for experiment 17. A profit of \$500.00 for each seat and 357 working days per year. The entity's annual profit determines by varying only the number of materials cars to be request and their capacity, \$ 19,563,600. 00 for experiment 12 and \$17, 707,200.00 for experiment 17. the value of the profit is assumed since it is impossible to make public the company's basic information for confidentiality reasons.

TABLE III DATA USED FOR FINANCIAL ANALYSIS.

Data financial	Experiment 12	Experiment 17
Increase of materialistic carts	135	127
Number of containers	49	19
Increased final production in one day	137	124
Increase in final production in one year	48,909	44,268
Initial investment	\$20,372,500.00	\$19,097,500.00
Annual earnings	\$19,563,600.00	\$17,707,200.00
TIR	92%	89%
VAN	\$64,154,972.46	\$57,434,431.13

By making a projection over five years and assuming a discount rate equal to inflation and equivalent to 4% (Mexico's inflation rate according to the Bank of Mexico to date), the internal rate of return (IRR) and the net present value (NPV) obtained for each of the experiments.

## VI. CONCLUSIONS

As a solution of this work, the model simulation obtains to reflect the process analyzed in the start-up phase. It is possible to show vehicles' availability to transfer materials on each route and the waiting and blocking times that occur in the process. The situation analyzed by the stable system in which inventory in the machines is the beginning of the production process reduces waiting times.

Otherwise, the variant of experiment 17 represents a lower initial investment but is less profitable than the other variant and would still significantly increase profits. This option is chosen to anticipate a change in production within the company or changes in the current environment and customer demand. It proposed that the company consider that, when releasing capacity on specific machines due to reduced waiting and blocking times, production control should be analyzed where parts are processed for other processes. This result is significant compared with other researches. (M. Kovalský y B. Mičieta,

2017) and a retrospective similar as in: (H. De Steur, J. Wesana, M. K. Dora, D. Pearce y X. Gellynck, 2016).

The work was validated with runs using the SIEMENS simulation software, varying the number of carts and the amount of material contained in each cart, concluding two options with different investment, for the implementation of the change in the carts of material.

### A. Future research

As future work, it proposed stabilizing the system by placing inventory in the machines to be processed and waiting times reduced at initiating the process. It intended to program within the software used a genetic algorithm to perform experiments with different genetic operator configurations such as crossing, mutation, and selection to increase variability within the algorithm. Similarly, it planned to incorporate other optimization techniques to compare the results achieved by these different routes.

It is recommended to monitor and measure the results of the research for any necessary adjustments.

## REFERENCES

- [1] R. J. Restrepo, «La logística y las soluciones en la gestión de la red de abastecimiento.» QUID, n° 21, pp. 53-60, 2013.
- [2] S. Chopra y P. Meindl, Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación., México: Pearson Education, 2013.
- [3] J. R. Do Rego y M. A. De Mesquita, «Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts, » Int. J. Production Economics, n° 16, pp. 1-16, 2015.
- [4] M. Kovalský y B. Mičieta, «Support planning and optimization of intelligent logistics systems, » Procedia Engineering, n° 192, pp. 451- 456, 2017.
- [5] Hillier, S. Frederick. Lieberman, J. Gerald, «Introduccion a la investigacion de operaciones, » Mc Graw Hill, n°9, pp. 285-288 , 2010.
- [6] N. Sa'udah, N. Amity M. Nazri Ali, «Facility layout for SME Food Industry via Value Stream Mapping, » Procedia. Economics and Finance, n° 31, pp. 797-802, 2015.
- [7] H. De Steur, J. Wesana, M. K. Dora, D. Pearce y X. Gellynck, «Applying Value Stream Mapping to reduce food losses and wastes in supply chains: A systematic review, » Waste Management, n° 58, pp. 359-368, 2016.
- [8] Y.-Q. Rao, M.-C. Wang, K.-P. Wang y T.-M. Wu, «Scheduling a single vehicle in the just-in-time part supply for a mixed-model assembly line, » Computers & Operations Research, n° 40, p. 2599-2610, 2013.



# **Estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el Puerto de Veracruz**

Jared Piña Barcenás, Carlos Daniel Martner Peyrelongue.

# Estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el Puerto de Veracruz

Jared Piña Barcenas

Coordinación de Transporte Integrado y Logística  
Instituto Mexicano del Transporte (IMT)  
Querétaro, México  
jpina@imt.mx

Carlos Daniel Martner Peyrelongue

Coordinación de Transporte Integrado y Logística  
Instituto Mexicano del Transporte (IMT)  
Querétaro, México  
martner@imt.mx

**Resumen**— El presente artículo incluye los resultados de un estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el puerto de Veracruz usando datos GPS de una empresa transportista. El objetivo fue analizar los movimientos, tiempos y demoras del autotransporte de carga desde que ingresa hasta que sale del recinto portuario en las operaciones cotidianas tanto de importación, como de exportación. En este sentido, se midió el indicador llamado internacionalmente *truck-turn-time* que consiste en determinar el tiempo de estadía de cada camión que ingresa al puerto, identificando la permanencia en cada uno de los nodos o eslabones representativos de la actividad portuaria.

Los datos GPS de operaciones de vehículos de carga dentro del puerto de Veracruz, abarcan un periodo de tres meses: enero, febrero y marzo del año 2020. Entre los resultados se incluye un análisis de tiempos de estadía en geocercas donde se comparan los tiempos medios que tardan los vehículos realizando las distintas operaciones, en cada una de las diez geocercas consideradas. Las estadísticas presentadas pertenecen a las terminales de GOLMEX, CICE, ICAVE, CIF y RICSA, además de áreas de interés como la Aduana, el CALT, la ruta fiscal, la bahía logística y los rayos gamma para la salida de importación. Los resultados incluyen además la estimación de los indicadores de fluidez. También se incluye un análisis de los tiempos de estadía por ruta dentro del puerto donde intervienen las diez áreas de operación principales.

Por último, se incluye la sección de conclusiones y recomendaciones para reducir el *truck-turn-time* en el puerto de Veracruz. Un resultado importante de este trabajo, fue la identificación con éxito de las distintas rutas que siguen los vehículos entre las geocercas, su tiempo total y su clasificación. Con ello se logró medir el tiempo de estadía en el puerto por tipo de ruta.

**Palabras Clave**— Trazabilidad; Fluidez; Operaciones en puerto; Datos GPS; *truck-turn-time*; Tiempo de giro

## I. INTRODUCCION

Al abordar el tema de trazabilidad, se hace referencia al desarrollo de líneas de acción que permitan establecer mediciones en la logística, para poder conocer la ubicación exacta de las mercancías en determinado punto, es decir, la trazabilidad permite dar mediciones en tiempo real, con lo cual se puede alcanzar mayor eficiencia en la logística portuaria. Los investigadores C. Loebbecke y P. Powell en su análisis científico, manifiestan que los sistemas logísticos pueden proporcionar los procesos transparentes que permitan identificar dónde se encuentra la mercancía en el momento en que sea

necesario llevar a cabo su rastreabilidad. Es decir, a través de los modelos de trazabilidad se permite al importador o exportador, conocer mediante sistemas informáticos y en tiempo real, donde se encuentran ubicados las unidades de transporte que mueven la carga, con ello se pueden establecer cuáles son los puntos en donde la carga permanece estacionada o sin movimiento y de esta manera poder abordar el punto para lograr que dichos embarques circulen evitando demoras y costos adicionales [1].

Para darle viabilidad a los proyectos de trazabilidad de las operaciones portuarias se requiere de la participación y el acuerdo de los múltiples actores que intervienen en la cadena logística marítimo - portuaria. Cada actor desempeña tareas específicas que se van enlazando con las de los demás participantes de la cadena. Por lo tanto, si todos ellos no actúan de manera coordinada y sincronizada será muy difícil visibilizar adecuadamente los procesos y obtener la deseada trazabilidad de las cadenas de suministro que permitan identificar los cuellos de botella y encontrar soluciones consensadas para mejorar la eficiencia de las operaciones portuarias.

En este contexto, un área de oportunidad detectada por la Comunidad Portuaria de Veracruz, la API Veracruz y el propio Instituto Mexicano del Transporte consiste en mejorar la eficiencia del desalojo de la carga movida mediante el autotransporte que vincula el recinto portuario con el hinterland o zona de influencia territorial del puerto. En esta primera fase se analizaron los tiempos y/o demoras de los camiones desde que arriban al llamado Centro de Atención Logística al Transporte (CALT) hasta que salen del recinto portuario después de haber pasado por las terminales, la ruta fiscal y la Aduana Marítima.

Este recorrido interior, conocido en la literatura especializada como el *truck-turn-time* o tiempo de giro desde la entrada hasta la salida del recinto portuario, suele complicarse en repetidas ocasiones debido a la falta de coordinación de la gran cantidad de actores que participan en estas operaciones. Al respecto, el presente estudio propone una metodología innovadora para analizar el *truck-turn-time* en el puerto de Veracruz utilizando los registros GPS de los camiones en su recorrido por el recinto portuario, lo cual permite identificar con precisión la trazabilidad de los vehículos, así como los lugares y actividades que generan más demoras, con la finalidad de establecer un parámetro para que la Comunidad Portuaria pueda implementar mejoras operativas que se traduzcan en ahorro de tiempo y dinero para los diversos actores de la cadena logística marítimo-portuaria.

En específico, el estudio tuvo como objetivo el analizar las características e identificar la trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en las operaciones de acceso y desalojo de las mercancías en el recinto portuario de Veracruz.

## II. ANTECEDENTES

El tiempo de giro o de estadía de los vehículos de carga dentro del recinto portuario (*truck-turn-time*) es el lapso de tiempo medido en minutos que tarda un camión en realizar sus operaciones en las terminales de un puerto. Existen puertos que ya implementan sistemas para realizar estas mediciones y sitios de consulta de las estadísticas, por ejemplo: el puerto de Oakland [2] o el de Los Ángeles [3] en EEUU, el puerto de Tauranga [4] en Nueva Zelanda, la Terminal APM Bahrain [5] del puerto de Khalifa Bin Salman en el Golfo Pérsico, entre otros. Para realizar la medición de dichos tiempos, las terminales registran la entrada y salida de los vehículos de carga, haciendo uso de tecnologías como los identificadores de radio frecuencia (RFID). Entre los indicadores que generan, se encuentran el tiempo medio de giro y el porcentaje de vehículos atendidos. Además, se puede dividir la información por tipo de operación, ya sea para entregar o recoger un contenedor.

La manera de estimar los tiempos medios varía en cada puerto. Por ejemplo, en la página web del puerto de Oakland [2] se estiman con base en los vehículos que salieron en los 30 minutos anteriores al momento de la consulta y se descartan aquellos valores menores a 15 minutos y mayores a 4 horas. Por su parte en el puerto de Tauranga [4], el tiempo se comienza a medir después de terminar el papeleo en la terminal y mencionan que su objetivo es hacer la operación correspondiente en menos de 20 minutos. En la web de la Terminal APM Bahrain [5] se menciona que los tiempos son medidos desde que se cruza la entrada de las instalaciones, hasta su abandono. Así, se puede observar que no existe a nivel mundial un consenso unánime en la manera en que se debe estimar esta medida de desempeño de las operaciones que realizan los vehículos de carga dentro de los puertos.

En América Latina ya se han implementado algunas soluciones, de manera similar al objetivo del presente estudio. Por ejemplo, existen soluciones basados en la tecnología RFID, que son etiquetas de radiofrecuencia que envían señales de identificación a antenas colocadas en zonas estratégicas de interés. En el puerto de Buenos Aires se usan para determinar las horas pico en áreas de recepción de camiones. En Colombia varias asociaciones transportistas consideran su uso para identificar vehículos de carga y pasajeros, de modo que puedan monitorear ubicaciones clave en ruta, como peajes, puestos de control, cruces fronterizos, zonas francas, puertos, etc. [6].

Otra propuesta para abordar la trazabilidad, con el objetivo de determinar la incertidumbre del tiempo de tránsito del transporte de carga y su despacho en puertos, es el uso de contenedores inteligentes [7]. Los autores Wattanakul y sus colaboradores comentan que la trazabilidad unitaria basada en Internet de las Cosas, con un seguimiento de los contenedores en tiempo real y de múltiples parámetros (como la posición, temperatura, vibración, humedad, etc.), es una solución que permite mejorar la reactividad en tiempo real al enfrentar perturbaciones y extraer conocimiento de datos históricos.

Una desventaja inmediata de las tecnologías antes mencionadas, es la inversión que se debe hacer para su implementación. Sin embargo, existen sistemas ya implementados por las empresas transportistas, que no representan un gasto extra y ya generan información suficiente para fines de trazabilidad. Dichos sistemas son los de monitoreo GPS (*Global Positioning System*).

La información de posicionamiento global de los vehículos ya ha sido usada anteriormente para la identificación de cuellos de botella en las cadenas de suministro, por ejemplo [8]. En su investigación, Cedillo-Campos y colaboradores comentan que el transporte por carretera es el principal medio de transporte en los países emergentes. Por lo que en su trabajo presentan un análisis de la confiabilidad del tiempo de viaje con diferentes metodologías, basadas en la recolección de datos de carga mediante GPS, como elemento clave para evaluar la fluidez del transporte de mercancías en los corredores de transporte de México.

Por su parte, Bartholdi y sus colaboradores [9] proponen una metodología que aprovecha los datos GPS de los vehículos de carga para identificar los patios visitados, inferir si se deja o recoge un contenedor y medir el tiempo de estadía en cada etapa del recorrido. Su metodología requiere contar con todas las rutas posibles (lista ordenada de patios que participan en cada operación), que puede llegar a seguir un vehículo de carga. Y mencionan que la metodología puede no funcionar bien cuando los vehículos no siguen estas rutas de manera estricta. No presentan los resultados (tiempos de estadía) del estudio, se enfocan totalmente en la metodología.

También Zhao y Goodchild [10] hacen uso de datos GPS para evaluar la predictibilidad del tiempo de llegada de los camiones a las terminales del Puerto de la Bahía de San Pedro (L.A. California). Proponen un método para predecir el intervalo de confianza del 95% del tiempo de viaje entre los pares origen-destino identificados en la muestra de datos.

En el presente trabajo, se continua en una línea de investigación similar, demostrando la utilidad de los datos GPS para la identificación de la trazabilidad dentro del puerto. Así se identifica la trazabilidad de los vehículos de carga en cada una de las geocercas a las que ingresan cuando visitan el puerto, con el fin de estimar la eficiencia del transporte de carga terrestre a través de sus tiempos de estadía en el recinto.

A continuación, se presenta la metodología propuesta para la estimación del tiempo de giro (*truck-turn-time*) en instalaciones portuarias haciendo uso de datos GPS de los vehículos que operan dentro del puerto. La metodología permite identificar y caracterizar cada ruta de acuerdo a las geocercas visitadas, y el agrupamiento de rutas similares. Además de la estimación de los tiempos medios, se propone la estimación de indicadores de fluidez, los cuales pueden ser un apoyo importante para determinar los cuellos de botella que pueden representar cada una de los segmentos que participan en la ruta. La identificación y priorización de atención de estos cuellos de botella, se considera como un enfoque integral para alcanzar la reducción del tiempo de giro [11].

### III. METODOLOGÍA

La muestra de datos fue entregada por la empresa de transporte participante en un archivo CSV. Los datos corresponden a un periodo del 2 de enero de 2020, al 30 de marzo de 2020. El archivo se compone de 7 columnas y 167,150 líneas. Cada línea representa un registro GPS de un vehículo en específico y entre la información de interés, se incluye: el identificador del vehículo, la fecha con la hora, latitud y longitud.

Para el almacenamiento de los datos GPS, así como las geocercas que definen áreas de interés dentro del puerto, se utilizó el sistema gestor de bases de datos PostgreSQL. Además, para programar las rutinas de análisis de los tiempos de estadía se hizo uso del lenguaje Java.

#### A. Análisis de consistencia y depuración de la muestra

Tras la recepción de la muestra se dio inicio a su análisis, para evaluar la consistencia de los datos. Con consistencia, nos referimos a analizar la estabilidad y coherencia de los datos, en términos de la relación que hay entre cada par de puntos GPS consecutivos en el tiempo y su distancia recorrida. El análisis nos permite identificar los elementos que deben ser descartados de la muestra, al presentar comportamientos erráticos en su movimiento. Los casos erráticos son identificados cuando se estiman las velocidades (relación de tiempo y distancia recorrida) de desplazamiento entre puntos consecutivos; si estas velocidades resultan muy por encima del límite establecido, entonces se descartan los puntos del vehículo en la fecha correspondiente. Es importante mencionar que se descarta el día completo de operaciones correspondiente a los pares erráticos.

Como resultado se descartaron 4,176 pares de puntos, correspondientes a 19 días de un solo vehículo, por presentar movimientos que implicarían velocidades mayores a los 120 km/h o con distancias grandes recorridas en cero minutos. Este tipo de comportamiento puede ser resultado de una falla en su GPS. En conclusión, se analizaron 162,997 puntos de 68 vehículos diferentes.

#### B. Análisis de trazabilidad y fluidez

La Comunidad Portuaria de Veracruz entregó, para el desarrollo del proyecto, una lista de geocercas. La lista contiene 72 geocercas definidas, con identificadores que van de 1 a 124. Un subconjunto de 64 geocercas, se usaron para determinar los diferentes pasos de los procesos de acceso y desalojo de las mercancías en el recinto portuario. El motivo de no hacer uso de todas las geocercas, es que algunas de ellas se superponen a otras. Para el presente análisis se buscó clasificar cada movimiento dentro de una geocerca de manera unívoca, definiendo así cada paso del proceso sin resultados duplicados. También fue necesario redimensionar algunas geocercas, ya que se observó que presentaban acumulaciones de puntos en sus inmediaciones o también, para evitar el traslape con otras áreas. En la Figura 1 se muestra el resultado final de las geocercas que se usaron para el análisis.



Fuente: Elaboración propia con base en datos la Comunidad Portuaria de Veracruz

Figura 1. Mapa de Geocercas del Puerto de Veracruz

Tras la depuración y corrección de las geocercas, se dio paso a la estimación de los siguientes datos por cada visita a las instalaciones del puerto, que hayan realizado los vehículos de la muestra:

- Tiempos de estadía en geocercas. Primero, se separan y seleccionan los registros que caen dentro de alguna de las geocercas de interés. Segundo, por cada vehículo se toma el registro mínimo en fecha y hora dentro del grupo definido anteriormente, y con respecto a este se estima el tiempo transcurrido hasta el registro mayor en fecha y hora, antes de abandonar la misma geocerca. Se registra este tiempo de estadía y se pasa a hacer lo mismo en la siguiente geocerca visitada. Se continúa de esta manera hasta revisar todos los registros del vehículo. Se repiten los pasos anteriores con cada uno de los vehículos, hasta que hayan sido analizados todos los registros de todos los vehículos.
- Tiempos de viaje entre geocercas. Al visitar una nueva geocerca, se compara la hora en que se inició la visita a ésta, contra la hora en que se abandonó la geocerca inmediata anterior y se estima el tiempo transcurrido. Dicho tiempo se toma como el tiempo de viaje entre ese par de geocercas.
- Determinación de las rutas seguidas en las instalaciones del puerto. Una vez determinadas las geocercas visitadas por cada vehículo, se da paso a ordenar en el tiempo dichas visitas; para así definir los patrones de movimiento que siguen al realizar sus operaciones dentro del puerto.
- Tiempos de estadía dentro del puerto por ruta seguida. Se estiman tomando la diferencia de tiempo entre la hora de llegada al estacionamiento del CALT y la hora de abandono de la última geocerca visitada, las cuales pueden ser: la ruta fiscal, rayos gamma de importación, la aduana, ICAVE bahía norte o la bahía logística.

Una vez estimados los tiempos de estadía en geocercas, de viaje entre geocercas y de rutas completas; se realizó un análisis estadístico de los datos, estimando la media, desviación estándar, primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil, percentil del 95% y el tiempo máximo. En el caso específico del análisis de tiempos de estadía por ruta dentro del puerto, se agruparon

todas aquellas rutas que presentan un patrón similar, sin necesariamente registrar con los datos GPS una visita a las mismas geocercas en su totalidad. Por ejemplo, las rutas similares que implican la visita del estacionamiento del CALT, la terminal de ICAVE Bahía Norte y la salida por la ruta fiscal se muestran a continuación:

- CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Ruta Fiscal
- CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Ruta Fiscal - Salida Rayos Gamma de Importación
- CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Ruta Fiscal - Salida Rayos Gamma de Importación - Aduana
- CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Ruta Fiscal – Aduana

Todas las rutas anteriores se consideran en esencia iguales, por lo que la estimación del tiempo medio para las visitas a ICAVE y la salida por la ruta fiscal, se realiza con todas estas variantes. Y así sucesivamente con las distintas terminales a las que da servicio la empresa transportista, tales como GOLMEX, CICE, CIF y RICSA.

La justificación de hacer el agrupamiento anterior es la siguiente. Al observar todas las rutas identificadas, se observó el siguiente patrón:

1. Visita al estacionamiento del CALT.
2. Visita a una terminal (ICAVE, GOLMEX, CICE, CIF o RICSA).
3. Visita registrada a una o varias de las geocercas de salida (Ruta Fiscal, Salida Rayos Gamma de Importación y/o Aduana).

Las tres geocercas de salida que se mencionan en el punto tres, se visitan siempre que el vehículo pasa por la Salida Rayos Gamma de Importación. El problema es que algunas veces el recorrido de esta zona puede hacerse de manera muy rápida y puede que no todas las visitas queden registradas con el GPS. Sin embargo, se puede asumir que si paso por la Salida Rayos Gamma de Importación entonces debió pasar por la Ruta Fiscal y por la Aduana.

Además del uso de estadística descriptiva, en este estudio se utilizó un enfoque de fluidez aplicado a tiempos de estadía en el puerto, con la finalidad de determinar el desempeño de los procesos dentro del puerto. Las medidas de fluidez consideradas son: el coeficiente de variación, el tiempo de reserva (buffer time) y el índice de reserva (buffer index). Al igual que en el estudio realizado por Cedillo-Campos y colaboradores [8], la audiencia principal de este estudio son los tomadores de decisiones privados y/o públicos, en específico se trata de la Comunidad Portuaria de Veracruz y la API Veracruz. Se adoptó el punto de vista del usuario para establecer medidas de confiabilidad, utilizando los datos georreferenciados de sus movimientos, y el uso de un enfoque de preferencias reveladas basado en dispositivos GPS para recopilar datos del viaje del usuario.

**Tabla 1. Medidas de fluidez usadas en el presente estudio**

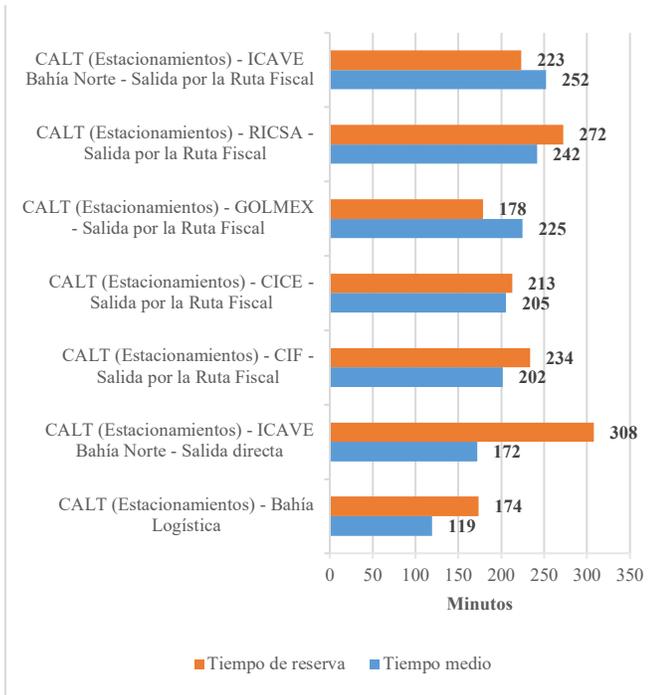
índice	Fórmula	Detalles
Coeficiente de variación	$CV = \frac{Desv. estándar}{Tiempo medio de viaje} * 100$	Relación entre la desviación estándar y la media
Índice de reserva	$BI = \frac{Perc. 95\% - Tiempo medio de viaje}{Tiempo medio de viaje}$	Tiempo extra necesario expresado en porcentaje
Tiempo de reserva	$BT = Perc. 95\% - Tiempo medio de viaje$	Tiempo extra necesario expresado en unidades de tiempo

Fuente: Elaboración propia con información del estudio de Cedillo-Campos y colaboradores [8]

#### IV. RESULTADOS

En total se identificaron 45 rutas diferentes que en total registran 1,636 recorridos. De estas rutas, sólo siete de ellas cuentan con un mínimo de 32 recorridos registrados. Los resultados que se muestran a continuación corresponden a estas siete rutas que en total suman 1,557 recorridos, es decir, el 95% del total de recorridos. En estos recorridos se visitan solo diez geocercas de las 64 consideradas: “Aduana”, “Bahía Logística”, “CALT (Estacionamientos)”, “CICE”, “CIF”, “GOLMEX”, “ICAVE Bahía Norte”, “RICSA”, “Ruta Fiscal” y “Salida Rayos Gamma de Importación”.

Para iniciar el análisis, en la Figura 2 se muestran los tiempos medios y de reserva de las principales rutas identificadas. Los resultados se presentan de mayor a menor tiempo medio. Entre las tres primeras posiciones no existe una gran diferencia en su tiempo medio, ya que van de las 3 horas y 45 minutos a las 4 horas y 12 min. Pero la ruta de RICSA necesita el mayor tiempo de reserva a considerar de estas tres. Sin embargo, la ruta que presenta el mayor tiempo de reserva es la de la terminal de ICAVE (la ruta con salida directa) con 5 horas y 8 minutos en el 95% de los casos. La ruta que presenta los menores tiempos, tanto medio como de reserva, corresponde a la visita a la bahía logística, ello debido a que en esa terminal, los camiones entregan contenedores vacíos o llenos y salen sin carga del puerto, por lo que no tienen que pasar ni por la ruta fiscal ni por la Aduana. Un factor que puede influir en el tiempo medio de la ruta de ICAVE con salida por la Ruta Fiscal, es que se trata de la ruta más larga en distancia.



Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

**Figura 2. Tiempos medios y de reserva por ruta con mayor número de registros**

En la Tabla 2 se muestra el número de datos (recorridos) por ruta registrados, el coeficiente de variación y el índice de reserva. La ruta con el mayor índice de reserva es la de ICAVE Bahía Norte con salida directa, cuya actividad corresponde a la entrega de contenedores vacíos o contenedores de exportación, por consiguiente los camiones destinados a esta ruta salen sin carga del puerto y no requieren realizar todo el periplo a través de la ruta fiscal y la Aduana para salir del recinto portuario. Este índice tan grande se ve claramente reflejado en su tiempo de reserva de la Figura 2. La ruta de la Bahía Logística presenta el coeficiente de variación más grande, esto debido a casos donde el transportista se queda esperando algunas horas en el estacionamiento del CALT.

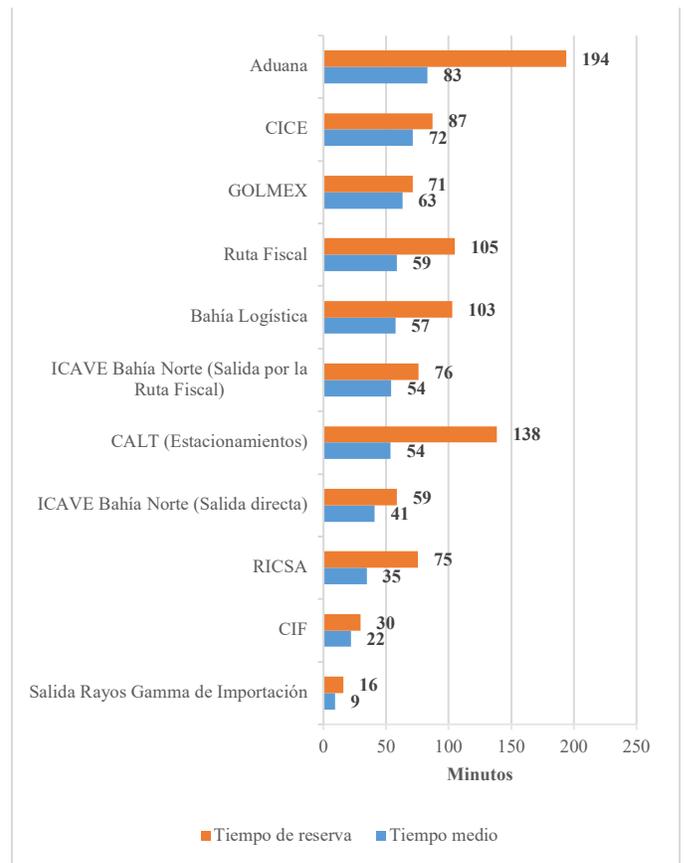
**Tabla 2. Indicadores de fluidez por ruta**

Ruta	No. de datos	Coef. de variación	Índice de reserva
CALT (Estacionamientos) - Bahía Logística	283	119.24	146%
CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Salida directa	306	89.07	179%
CALT (Estacionamientos) - GOLMEX - Salida por la Ruta Fiscal	195	72.31	79%
CALT (Estacionamientos) - CICE - Salida por la Ruta Fiscal	73	61.64	103%
CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte - Salida por la Ruta Fiscal	599	59.09	89%
CALT (Estacionamientos) - CIF - Salida por la Ruta Fiscal	69	56.32	116%
CALT (Estacionamientos) - RICSA - Salida por la Ruta Fiscal	32	55.09	113%

Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

Para continuar con el análisis del tiempo de giro, se procede a estimar los tiempos medios en cada una de las etapas de las rutas. En la Figura 3 se observan los resultados por geocerca, en orden con respecto al tiempo medio. El tiempo medio más grande (1 hora y 23 minutos) ocurre en la Aduana Marítima y coincide con el mayor tiempo de reserva necesario con un valor de 3 horas y 14 minutos. Otro caso con un tiempo de reserva grande es el estacionamiento del CALT que, a pesar de tener un tiempo medio de poco menos de una hora, es necesario considerar un tiempo extra de 2 horas y 18 minutos. Sin embargo, es posible que dicho tiempo presente una gran dispersión debido a que, como ya se mencionó, algunos transportistas llegan antes de la cita. El caso del menor tiempo medio es el que ocurre en la salida de rayos gamma de importación, lo cual resulta comprensible porque es un punto donde los vehículos circulan a baja velocidad, pero de manera continua previo a su ingreso a la Aduana.

Dos casos que llaman la atención son los tiempos que manejan las terminales de RICSA y CIF, dado que presentan los menores registros de tiempos medios en las geocercas de sus respectivas terminales, no obstante, los tiempos completos de tales rutas llegan a ser bastante elevados (en especial, el caso de RICSA, que tiene de los mayores tiempos por ruta completa). Más adelante se abordará la explicación a estos dos casos, después de analizar los tiempos de viaje entre geocercas.



Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

**Figura 3. Tiempos medios y de reserva por geocercas con mayor número de visitas**

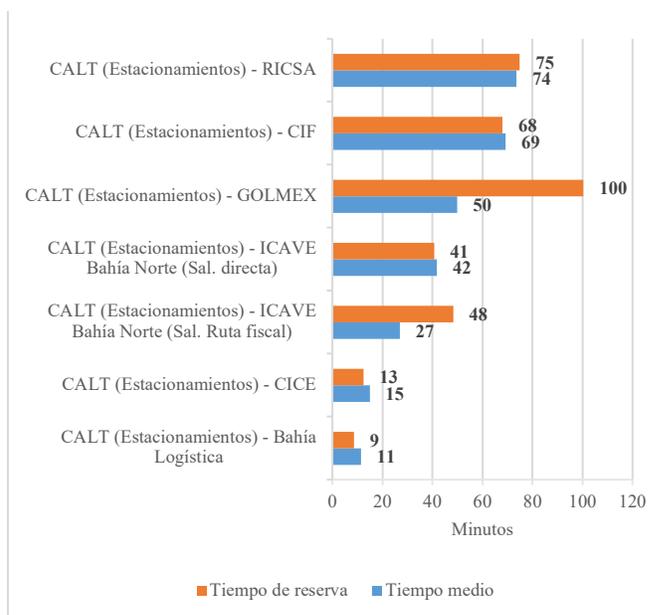
En la Tabla 3 se presentan los indicadores de fluidez por geocerca. Como se puede observar, el estacionamiento del CALT y la Aduana tienen los mayores coeficientes de variación, lo cual se refleja en su índice de reserva donde, en el caso del CALT es del 258%. Las terminales con menor dispersión son ICAVE (en las rutas con salida por la ruta fiscal) y CICE.

**Tabla 3. Indicadores de fluidez por geocerca**

Geocercas	No. de datos	Coef. de variación	Índice de reserva
CALT (Estacionamientos)	1,557	212.59	258%
Aduana	277	120.09	233%
RICSA	32	102.05	218%
Salida Rayos Gamma de Importación	758	95.94	175%
Ruta Fiscal	815	91.81	179%
ICAVE Bahía Norte (Salida directa)	306	91.15	143%
Bahía Logística	283	91.05	179%
CIF	69	81.19	136%
GOLMEX	195	79.00	113%
ICAVE Bahía Norte (Salida por la Ruta Fiscal)	599	75.40	140%
CICE	73	66.66	122%

Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

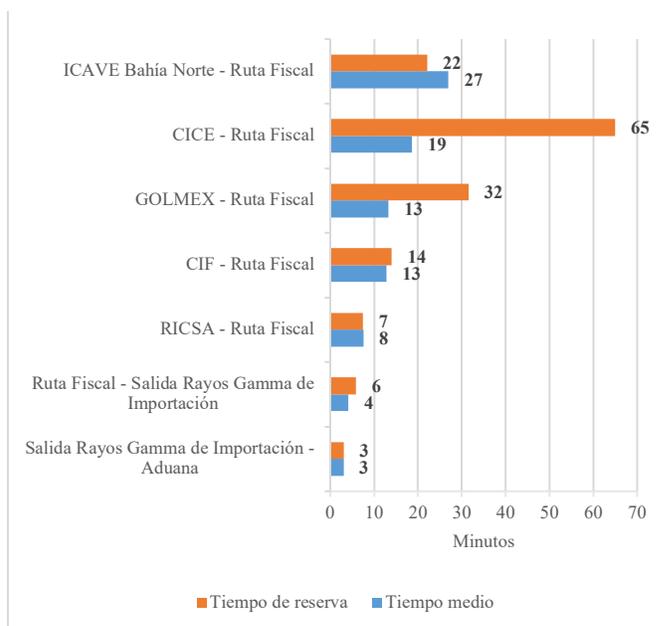
Con respecto a los tiempos de viaje desde el CALT a las diferentes terminales, mismos que caen en el rubro de tiempo entre geocercas, en la Figura 4 se muestran los resultados de los tiempos medios y de reserva. En cuanto a los tiempos medios, los recorridos del CALT a RICSA y del CALT a CIF presentan los mayores valores con 75 min y 69 min respectivamente. Esto se explica en buena medida porque los camiones hacen cola en una zona al exterior de dichas terminales, dado que ambas son de dimensiones reducidas, generando demoras previo al acceso de dichas instalaciones. De igual forma, dichos recorridos se encuentran entre los tres mayores tiempos de reserva, sin embargo, por debajo del recorrido del CALT a la terminal de GOLMEX con un tiempo de 100 minutos a tomar en cuenta. Los recorridos con el menor tiempo medio y de reserva son los que van del CALT hacia las terminales de CICE y la Bahía Logística. Los tiempos medios correspondientes son de 15 min y 11 min; y en cuanto a los tiempos de reserva, son de 13 min y 9 min respectivamente.



Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

**Figura 4. Tiempos medios y de reserva de los recorridos del CALT a las terminales**

En cuanto al resto de recorridos entre las geocercas, en la Figura 5 se muestran los resultados correspondientes. El mayor tiempo medio de recorrido ocurre entre la terminal de ICAVE y la ruta fiscal con un tiempo de 27 min. El resto de tiempos medios se encuentra por debajo de este y varían de los 19 min a los 3 min (los tiempos pequeños ocurren por lo general entre geocercas contiguas). Además, el mayor tiempo de reserva ocurre en el recorrido desde la terminal de CICE hacia la ruta fiscal con un valor de 65 minutos.



Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

**Figura 5 Tiempos medios y de reserva de los recorridos entre geocercas**

En la Tabla 4 se muestran los resultados del coeficiente de variación y el índice de reserva de los tiempos de recorrido entre las geocercas. Los viajes con mayor dispersión ocurren desde las terminales de CIF, GOLMEX y CICE hacia la ruta fiscal. De igual forma, los principales índices de tiempo de reserva pertenecen a los recorridos de GOLMEX y CICE.

Como se mencionó anteriormente, las terminales de RICSA y CIF presentan los menores tiempos medios de estadía en sus instalaciones delimitadas por las geocercas. Sin embargo, no presentan los menores tiempos de giro dentro del puerto. Si se observa la Figura 4 se puede encontrar a estas dos terminales con el mayor tiempo de recorrido desde el CALT. Analizando la muestra de datos GPS de los vehículos que visitan estas terminales, se observa la formación de una zona de espera en ambos casos fuera de sus geocercas. Esto explica los tiempos de giro grandes y los tiempos pequeños de estadía en las geocercas.

**Tabla 4. Indicadores de fluidez de los recorridos entre geocercas**

Viaje entre geocercas	No. de Datos	Coef. de variación	Índice de reserva
CIF - Ruta Fiscal	58	219.54	109%
GOLMEX - Ruta Fiscal	145	150.85	237%
CICE - Ruta Fiscal	53	133.79	349%
CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte (Sal. directa)	304	124.91	98%
Ruta Fiscal - Salida Rayos Gamma de Importación	619	101.53	141%
CALT (Estacionamientos) - ICAVE Bahía Norte (Sal. Ruta fiscal)	596	93.24	179%
Salida Rayos Gamma de Importación - Aduana	179	92.46	102%
CALT (Estacionamientos) - GOLMEX	192	89.13	201%
CALT (Estacionamientos) - Bahía Logística	281	71.27	76%
RICSA - Ruta Fiscal	19	55.91	99%
CALT (Estacionamientos) - CIF	68	54.05	98%
CALT (Estacionamientos) - RICSA	32	52.20	102%
ICAVE Bahía Norte - Ruta Fiscal	532	49.46	82%
CALT (Estacionamientos) - CICE	72	49.41	84%

Fuente: Elaboración propia (IMT) con base en datos de los registros GPS de vehículos de carga en el Puerto de Veracruz

Ciertamente, el análisis previo revela que existe potencial de mejora en varias zonas del puerto, siendo de las principales la entrada al puerto, la gran dispersión de los tiempos y el control de los vehículos dentro del puerto.

## V. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo el analizar las características e identificar la trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en las operaciones de acceso y desalojo de las mercancías en el recinto portuario de Veracruz. Como principal resultado se tiene la estimación de los tiempos de estadía en cada una de las zonas de interés, delimitadas por las geocercas definidas por la comunidad portuaria. Dichos tiempos permitieron identificar una serie de estadísticos importantes para determinar la fluidez actual de las operaciones e identificar áreas

de mejora en el sector transporte que opera en las instalaciones, como son: el tiempo medio de estadía, el coeficiente de variación, el índice de reserva y el tiempo de reserva.

Otro resultado importante de este trabajo, fue la identificación con éxito de las distintas rutas que siguen los vehículos entre las geocercas, su tiempo total y su clasificación. Con ello se logró medir el *truck-turn-time* por tipo de ruta.

En efecto, el análisis previo permitió detectar los eslabones débiles y cuellos de botella de la operación del autotransporte en el puerto de Veracruz mediante una detallada cuantificación de los tiempos de giro (*truck-turn-time*) segmentada por múltiples geocercas de actividad, lo cual permite identificar aspectos clave para mejorar la trazabilidad de los flujos en beneficio de las actividades logísticas de este importante nodo de la cadena de suministro marítimo-portuaria en México [12].

Precisamente, con el análisis de esta información la Comunidad Portuaria de Veracruz pudo tomar las medidas pertinentes para:

- Lograr un aumento en la productividad del puerto;
- mejorar la logística de los procesos y agilización en el movimiento de cargas de comercio exterior;
- identificar los tiempos en recintos fiscalizados, ruta fiscal y aduana;
- así como identificar cuales procesos administrativos simplificar.

Al respecto, es necesario mencionar que, a pesar de tratarse de un primer acercamiento sobre el impacto que ejercen las operaciones del autotransporte entre las diferentes terminales, actores y áreas de actividad dentro del recinto portuario, los resultados dan luz sobre la necesidad de mejorar el performance del *truck-turn-time* a través de una mayor coordinación entre actores y actividades para detonar una mejora global de la eficiencia del desalojo de la carga en el puerto de Veracruz.

Por otra parte, una primera consideración a tomar en cuenta en las siguientes etapas del estudio, es sobre la imposibilidad de distinguir entre operaciones de acceso y desalojo de las mercancías. El principal motivo es que los reportes GPS no describen si el vehículo va con carga y mucho menos el tipo de tarea que se está realizando, ya que este tipo de información escapa del motivo por el cual la empresa correspondiente hace uso de un sistema de rastreo GPS. Como recomendación se puede buscar una manera de lograr esta distinción entre operaciones.

Otra consideración importante a tomar en cuenta es el tiempo entre en los registros GPS. La variación de los tiempos entre registros consecutivos, influye directamente en la exactitud de los resultados aquí expuestos. La muestra no presenta una variación tan grande, siendo que el 95% de los pares presenta tiempos menores o iguales a 8 minutos. Estos minutos se deben considerar al interpretar los resultados, ya que el primero y último registro tomados de referencia para estimar el tiempo de estadía en cada geocerca, pueden presentar este atraso o adelanto de tiempo con respecto al instante exacto en que se entra o abandona cada geocerca.

Entre los puntos de mejora del estudio, se encuentra el rediseño de las geocercas. Las geocercas consideradas dentro del estudio, como ya se mencionó, son las que hace uso de manera operativa el API de Veracruz. Sin embargo, los motivos de definición original pueden ser distintos a los fines de este estudio. Entonces, es por este motivo que se tuvieron que realizar cambios en algunas de ellas y hasta descartar un gran número. Así, se propone el diseñar nuevas geocercas, tomando como referencia el diseño original, pero redefiniendo la extensión del área de acuerdo a la operación diaria observada en la muestra GPS.

Además del rediseño antes mencionado, es necesario identificar y definir las áreas de espera dentro del puerto, que de manera natural han sido establecidas por los operadores del transporte de carga. Otra opción es que la misma comunidad del puerto considere hacer algo al respecto, ya sea para tratar de disminuir dicho fenómeno o establecer zonas bien definidas y destinadas a dicha espera, ya que no es solo una terminal la que se ve involucrada.

Al tomar en cuenta estas consideraciones se espera mejorar la exactitud de los resultados obtenidos en etapas posteriores.

#### RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo que tuvimos por parte de la Comunidad Portuaria de Veracruz, la empresa MLH Transporte y la API de Veracruz, para la obtención de la información, así como su disposición al participar en las diferentes reuniones de trabajo.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] C. Loebbecke y P. Powell, «Competitive advantage from IT in logistics: The integrated transport tracking system,» *International Journal of Information Management*, vol. 18, p. 17–27, 2 1998.
- [2] Port of Oakland, «Truck Turn Time FAQ's,» 2021. [En línea]. Available: [https://portofoakland.emodal.com/documents/Truck\\_Turn\\_Time\\_FAQs.pdf](https://portofoakland.emodal.com/documents/Truck_Turn_Time_FAQs.pdf).
- [3] West Coast MTO Agreement, «Truck Turn Times,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.wcmtoa.org/terminals/truck-turn-times/>.
- [4] Port of Tauranga, «Truck Turn Time,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.port-tauranga.co.nz/metroport/truck-turn-time/>.
- [5] APM Terminals, «Truck Turn Times,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.apmterminals.com/en/bahrain/e-tools/truck-turn-times>.
- [6] G. Febré and G. Pérez, "Intelligent transport systems in Latin American sea port logistics," 2012.
- [7] S. Wattanakul, S. Henry, L. Bentaha, N. Reeveerakul y Y. Ouzrout, «Improvement of the Containerized Logistics Performance Using the Unitary Traceability of Smart Logistics Units,» de *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0*, Springer International Publishing, 2018, p. 410–419.
- [8] M. G. Cedillo-Campos, C. M. Pérez-González, J. Piña-Barcena y E. Moreno-Quintero, «Measurement of travel time reliability of road transportation using GPS data: A freight fluidity approach,» *Transportation Research Part A*, vol. 130, pp. 240-288, 12 2019.
- [9] J. J. Bartholdi III, A. Lasso, H. D. Ratliff y Y. Oliver, «Using GPS to measure truck service times in container terminal,» *Maritime Economics & Logistics*, vol. 21, nº 1, pp. 146-155, 2017.
- [10] W. Zhao y A. V. Goodchild, «Truck travel time reliability and prediction in a port drayage network,» *Maritime Economics & Logistics volume*, vol. 13, pp. 387-418, 2011.
- [11] T. R. Board, National Academies of Sciences y Medicine, *Truck Drayage Productivity Guide*, Washington, DC: The National Academies Press, 2011.
- [12] B. De la Fuente, C. Martner, M. G. CedilloCampos y T. Acosta, «Trazabilidad de los flujos de mercancías y desarrollo de la comunidad portuaria de Veracruz, México,» de *Dinámicas portuarias en el Caribe y América Latina: Ports in transition to face global challenges*, Editions EMS, 2021, pp. 381-416.



# **Modelo de costos de sistemas de logística inversa. Estudio de caso**

Erick Álvarez Alfaro, Juan José Méndez Palacios.

# Modelo de costos de sistemas de logística inversa

## Estudio de caso

Erick Álvarez Alfaro  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Tecnológico Nacional de México/IT Querétaro  
Querétaro, México  
erick.aa@queretaro.tecnm.mx

Juan José Méndez Palacios  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Tecnológico Nacional de México/IT Querétaro  
Querétaro, México  
juan.mp@queretaro.tecnm.mx

**Resumen—** Dado la importancia que hoy en día tiene las implicaciones del consumo de productos en las ciudades y su efecto en el incremento de las basuras o desecho generado por los usuarios, este artículo muestra los conceptos de logística inversa que permite mostrar las operaciones logísticas que se llevan a cabo para esta modalidad llamada flujo de retorno, que parte del punto desecho del producto pasando por procesos para su adecuación y de ahí distribirse como materia prima, esta situación, al ser una estructura diferente a cadena de suministro convencional, su operación implica una serie de costos relacionados que inciden en lograr la productividad.

La introducción describe la importancia de estudiar el flujo de retorno de productos basado en los conceptos de las operaciones a desarrollar en la cadena de suministro inversa o de retorno, la metodología parte de una aproximación teórica para conocer en qué consiste el flujo inverso y se plantea un ejemplo real, donde se hace un análisis de un estudio de caso relacionado con la comercialización de acumuladores automotrices en desuso.

Finalmente se concluye reflexionando acerca de la importancia de estudiar este tipo de integración empresarial para atender las oportunidades de gestación de empresas relacionadas con las alternativas de utilización de los productos desechados, así como contribuir a las políticas medioambientales.

**Palabras Clave—**flujo de retorno, logística inversa, operaciones logísticas, costos de operación

### I. INTRODUCCION

El interés por el flujo de retorno generado por el consumismo en las zonas urbanas ha dado a la logística inversa un nivel de importancia alto, en lo referente a la reutilización de los materiales del producto o incluso del mismo producto en si. De acuerdo a Ortega (2003), este enfoque operativo de la logística inicia en la década de los años setenta, cuando se comienza a analizar la estructura de las cadenas de suministro para el reciclaje, los actores que participan en estas cadenas, las nuevas funciones, etc. Y es en los años noventa cuando se estudian con mayor profundidad los procesos relacionados con la gestión de los productos fuera de uso y los sistemas logísticos asociados, [7].

Cabe destacar que los motivos por los que se ha incrementado en los últimos años el estudio de la logística inversa son: el creciente aumento de los productos retornados en las zonas urbanas, las oportunidades de venta en los mercados secundarios, la enorme proliferación y estrategias para atender las devoluciones por finalización de la vida útil, la presión de los sectores sociales sobre las empresas para responsabilizarlas de la eliminación de los productos que contienen residuos peligrosos y el problema de la capacidad de los vertederos que ha llegado a ser limitada y su gestión costosa.

El presente artículo, tiene como objetivo mostrar las experiencias de la logística inversa desde el punto de vista de los costos implicados en el flujo de retorno de productos usados, como es el caso de acumuladores automotrices.

### II. ANTECEDENTES

#### HACIA UNA DEFINICIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA

Revisando a los autores que han mostrado estos conceptos, se destacan los siguientes:

La Logística Inversa se puede observar como una tendencia que establece “la cadena de suministro inversa”, donde los fabricantes inteligentes están diseñando procesos eficaces para reusar sus productos [5].

Otras definiciones dicen lo siguiente:

La Logística Inversa consiste en el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación [9] y [10].

También [1], la Logística Inversa es el conjunto de actividades relacionadas con el manejo y gestión de equipos

para la recuperación de productos, componentes, materiales o incluso sistemas técnicos completos.

Por otra parte, [3] la Logística Inversa supone integración de los productos usados y obsoletos de nuevo en la cadena de suministro como recursos valiosos.

En la Logística Inversa están las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida [4]

De acuerdo a estos conceptos, se puede establecer que la Logística Inversa es el control de flujos de materiales desechados cuya cadena de suministro parte del punto de desecho, pasa por operaciones de transporte, de procesos de clasificación y acondicionamiento, para ser distribuidos como materia prima a clientes.

De manera explícita algunas de las operaciones que lleva a cabo la Logística Inversa son los procesos de:

- retorno de excesos de inventario,
- devoluciones de clientes,
- manejo de productos obsoletos,
- gestión de inventarios sobrantes de demandas estacionales, etc.,

incluyendo también actividades de retirada y/o recolección, clasificación, reacondicionamiento y reenvío al punto de venta o a otros mercados secundarios.

Es así como mediante la Logística Inversa, un producto que se ha devuelto a la empresa que lo vendió, ya se trate de una devolución dentro del período de garantía o de un producto al final de su vida útil, la empresa dispone de diversas formas de gestionarlo con la idea de recuperar su valor o parte de él. Donde el objetivo es recibir el valor más alto posible por los productos, de acuerdo con las restricciones legales impuestas por el vendedor, o en caso contrario realizar su eliminación al menor costo posible.

De acuerdo a lo anterior las operaciones que se realizan en la logística inversa parten de los procesos que se utilizan para recoger productos usados, dañados, no deseados o desfasados, al igual que los envases y embalajes, que incluye el transporte de éstos desde los usuarios finales al vendedor.

Como se ha dicho, la logística inversa se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos

peligrosos [5]; así como de los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales.

Un aspecto importante es que se adelanta al fin de vida del producto, con objeto de darle salida en mercados con mayor rotación, donde las actividades a realizar pueden ser las siguientes: reparación (calidad menor que los productos nuevos), renovación (que proporciona una calidad específica), reciclaje (busca la recuperación para volver a ser utilizado), canibalización (recuperación de un conjunto de partes reutilizables para otros productos), reutilización directa (que no requiere ninguna transformación más que limpieza), destrucción del producto, enajenación a un tercero, vertido o desecho (que no tiene reutilización alguna), restauración (en el que se busca conservar la identidad del producto), y refabricación (utilizando componentes del producto retornado que se usan para fabricar un nuevo producto)

Así se pueden caracterizar las principales diferencias entre las cadenas de suministro directo con las cadenas inversas de acuerdo a:

En primer lugar, que el momento, cantidad y calidad de los productos entregados puede ser controlado de acuerdo con las necesidades del sistema; sin embargo, en las redes inversas el suministro puede ser difícil de predecir.

En segundo, las redes directas no incluyen una etapa de inspección similar a las inversas, por lo que éstas son más complejas.

También y, en tercer lugar, se observa por el número de orígenes de las redes inversas, que suelen ser más numerosos que el número de puntos de suministro en logística directa.

#### LAS CADENAS DE SUMINISTRO EN LA LOGÍSTICA INVERSA

Los tipos de cadenas de suministro inversas pueden clasificarse de acuerdo a la motivación para la reutilización: legal (medioambiental) y económica (recuperar el valor del producto usado); por el tipo de artículo recuperado (por ejemplo: embalajes, componentes de repuestos y artículos domésticos); por la forma de reutilización (para reparación, renovación, reciclaje, reprocesamiento, canibalización y reutilización) y por los actores implicados (productor, consumidor, recogedor y en su caso el reciclador).

De lo anterior se destaca que existen ciertas fuerzas que incentivan el uso de la logística inversa, entre estas destacan tres categorías:

### III. METODOLOGÍA

1. Razones económicas (directa e indirecta). Relacionadas a las acciones de recuperación donde la empresa tiene una intervención directa o indirecta de beneficios económicos (esto se observa en la disminución de costos, el uso de menos materiales para producción o en la obtención de partes de repuesto importantes)
2. Razones legislativas. Donde los beneficios no son inmediatos, aquí la logística inversa puede ser un paso estratégico si se espera cumplir con la legislación ambiental, además debido a estas mismas legislaciones, y al uso de una tecnología diferente puede disuadir a otras compañías de entrar a competir al mercado, o en su caso iniciar una nueva empresa que apoye al cumplimiento ambiental.
3. Razones de responsabilidad extendida. Referido a que una empresa que tiene una buena imagen (ambiental) tiene mayor participación en muchos mercados hoy en día, ya que esta imagen crea vínculo fuerte con el cliente, debido a que hay un incremento creciente de conciencia ambiental en la Sociedad.

Al ser una aplicación de la Logística en la cadena de suministro,

#### ASPECTOS DE COSTO QUE GENERA LA LOGÍSTICA INVERSA

Las operaciones de la Logística Inversa inician con la responsabilidad del recuperador que empieza con la recolección de los productos usados, pasando por operaciones de inspección y en su caso separación, reprocesado, eliminación y, termina con la distribución de los productos recuperados a los clientes. En el entendido de que estas redes logísticas comprenden desde un grupo de actores que comercializan productos usados hasta otro grupo de clientes que demandan productos recuperados.

Los costos a considerar en las operaciones que se realizan en el flujo inverso de acuerdo a [10] y que se muestran de forma genérica son:

- Transporte, para recolección de desechos, entrega a procesamiento, y entrega a cliente.
- Costo de inventario de materiales para proceso.
- Manejo de desechos, lo que no se puede usar y si está obsoleto.
- Clasificación y diagnóstico de calidad, manipulación, reparación y reempaquetado.

La metodología utilizada para llevar a cabo la presente investigación es la cualitativa, donde el investigador comienza examinando los hechos que dan vida al fenómeno que se estudia y durante el proceso desarrolla una teoría coherente para representar lo que observa.

Debido a que las investigaciones cualitativas [6] se basan más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas).

A través de este artículo, se pretende mostrar un proceso de logística inversa al que se ha denominado como cerrado, ya que todos los factores que intervienen en la cadena de suministro han sido analizados e integrados por la empresa desde el abastecimiento de un producto terminado hasta la recogida de materiales o productos en desuso.

Por otra parte, se realizaron entrevistas con involucrados en los procesos, quienes dieron pauta para conocer el proceso de logística inversa que llevan a cabo, teniendo preguntas de investigación referentes a la definición de componentes de costos como:

1. En el caso del minorista, los factores de costos de operaciones que realiza como almacenaje, manipulación, costos de compra de productos en desuso, y algunas políticas que maneja la empresa respecto del retorno de los productos en desuso.
2. Para entender su proceso, las partes que componen el producto, las clasificaciones que ya se encuentran definidas, el abastecimiento, etc.
3. En el caso del distribuidor, los factores de costos de sus operaciones como abastecimiento, transporte, almacenaje, clasificación y mantenimiento de un inventario.
4. De ahí se obtuvieron pautas de la intervención de la planta de producción en cuanto a sus operaciones de abastecimiento que comprenden los transportes principalmente.

Con esta información recabada se pudo determinar la serie componentes de costos que intervienen en el proceso de logística cerrado que se presenta en el estudio.

#### MODELO DE COSTOS PARA UN SISTEMA CERRADO DE LOGÍSTICA INVERSA.

Cabe hacer hincapié que, para este documento, un modelo cerrado de logística inversa se ha considerado como aquel que ya tiene estudiados los factores de recolección, transporte, acondicionamiento y distribución e incluso que logrado establecer la tabulación tarifaria de los materiales en desuso y la red inversa.

Considerando la relación Costo-Beneficio implícito en toda actividad empresarial se parte de la siguiente formulación:

$$\text{Beneficio} = \text{Ingreso} - \text{Costo}$$

Así el ingreso esta dado en la mayoría de los casos por la cantidad de ganancia a obtener de acuerdo al gasto que implica la inversión relacionada con el concepto de costo. A continuación, se muestra la conceptualización de los costos implicados en las actividades relacionadas con el flujo inverso.

**Modelo general de costos de logística inversa desarrollado en el presente estudio.**

$$CT = \sum_{i=1}^m \text{operaciones logísticas en el flujo de retormo}$$

de donde se desglosan los siguientes costos:

$$CT = \sum_{i=1}^m C_{rec} + \sum_{j=1}^m C_{proc} + \sum_{k=1}^0 C_{ent} + \sum_{l=1}^p C_{des}$$

Donde:

CT = Costo Total

C<sub>rec</sub> = Costo de recolección / recuperación

C<sub>proc</sub> = Costo de procesamiento

C<sub>ent</sub> = Costo de entrega

C<sub>des</sub> = Costo de desecho

De una manera general para partir de ahí al desglose del modelo de costos, que ya dispersado se vería de la siguiente forma:

$$CT = C_{rec} + C_{inv} + C_{clas} + C_{emp} + C_{ent} + C_{des}$$

Se puede apreciar que el costo de procesamiento involucra a otros costos que se han considerado asociados como son:

$$C_{proc} = C_{inv} + C_{clas} + C_{emp}$$

C<sub>inv</sub> = costo de mantener el inventario de materiales en desuso

C<sub>clas</sub> = costo de clasificar, acorde a las características definidas

C<sub>emp</sub> = empaque (refiere a la consolidación de la carga)

Los diferentes costos considerados en el modelo integran a su vez muchas operaciones y costos logísticos, como los que se listan.

1. Costo de recolección por el detallista.
  - a. Costo de compra de material en desuso
  - b. Costo de recuperación
  - c. Costo de Mano de obra en carga/descarga
  - d. Costo de mantener inventario
2. Costo de recolección por el Distribuidor
  - a. Costo de Mano de obra en carga/descarga
  - b. Costo de transporte
  - c. Costo de separación o clasificación y limpieza.
  - d. Costo de mantener inventario
3. Costo de envío a planta
  - a. Costo de Mano de obra en carga (montacargas o a mano)
  - b. Costo de conteo y obtención del valor económico (administrativos)
4. Costos en planta
  - a. Costo de descarga (montacargas o a mano)
  - b. Costo de almacenaje
  - c. Costo de transformación
  - d. Costo de desecho
  - e. Costo de distribución del nuevo producto

Se sabe que puede haber más consideraciones de costos siguiendo a detalle el proceso de logística inversa mismo. Pero para el caso de estudio se han considerado los ya enunciados como ejemplo de aplicación.

#### IV. ANÁLISIS DE CASO

##### ACUMULADORES AUTOMOTRICES.

Para ilustrar lo que se ha estado comentando de la logística inversa en un sistema cerrado, se tomará como ejemplo el trabajo que se realiza con los acumuladores automotrices para el que se sostuvo una entrevista con el Sr. Humberto Alvarez “Don Beto” dueño de un establecimiento de acumuladores.

Contextualizando, primero se presenta una imagen que representa el proceso de logística inversa para los acumuladores automotrices.



Fig. 1. Proceso de recogida de acumuladores. Diseño propio.

Como se puede observar, el consumidor final es quien inicia el proceso cuando hace un cambio de acumulador, ya sea con un minorista o con un distribuidor, ya que ambos pueden vender al público en general.

Por otro lado, el distribuidor a través de sus camiones de reparto entrega y recoge cascos de acumuladores en cada viaje que realiza.

Posteriormente los recibe en sus instalaciones y los almacena para su concentración hasta llegar a la cantidad establecida por la planta para que, de esta forma, el tráiler que entrega acumuladores nuevos a su vez haga la recogida con el distribuidor y los lleve a planta para su procesamiento de reciclaje. Obteniendo así nuevos acumuladores con materiales recuperados y reiniciando el proceso.

Ahora, se explica la clasificación de los acumuladores.

En un inicio solo se hablaba de tamaños chico, mediano y grande, lo cuales se medían por la cantidad de placas que contenían por cada celda.

Para entender lo anterior, se presentan las siguientes Figuras 2 y 3:



Fig. 2. Acumulador automotriz vista externa. Diseño propio.

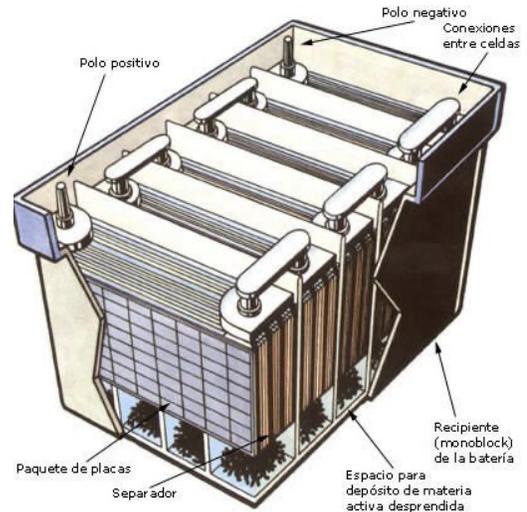


Fig. 3. Partes de un acumulador automotriz. (fuente: [https://www.taringa.net/+ciencia\\_educacion/carga-de-bateria-gel-vs-acido-a-la-hora-de-comprar\\_i7n1o](https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/carga-de-bateria-gel-vs-acido-a-la-hora-de-comprar_i7n1o))

Otro dato importante es que se tienen cantidades de placas impares, partiendo de 9 a 27 placas por celda. Cabe mencionar también que la cantidad de placas no hace que varíe el voltaje (12v), sino la cantidad de corriente (Amp) que esta proveerá al sistema eléctrico del automóvil.

En una clasificación inicial se tenía:

TABLA I. CLASIFICACIÓN INICIAL DE ACUMULADORES

TAMAÑO DE ACUMULADOR	Características		
	Cantidad de placas	Voltaje	Aplicación
Chico	9, 11	12v	Auto y camioneta ligera
Mediano	13, 15, 17	12v	Camioneta de carga, V8
Grande	23, 27	12v	Tractor, Camión y trailer

<sup>a</sup> Fuente. Acumuladores Beto. Diseño Propio.

Sin embargo, con la modernidad y el avance de la tecnología automotriz surgieron nuevos modelos de acumuladores con reforzamientos para hacer frente a las nuevas necesidades de los sistemas eléctricos automotrices y se generó la lista actual de clasificación de acumuladores, que se presenta a continuación:

TABLA II. CLASIFICACIÓN ACTUAL DE ACUMULADORES

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES
1	U1, U1R, NS40, NS40Z, NS40ZL, 44B19, 85, 99
2	21, 21R, 22F, 26, 26R, 42, 42R, 42, 42R, 51, 51R, 58, 58R, 67R, 85, 96R, T4

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES
3	24, 24F, 24R, 24M, 24MS, 25, 26/70, 34, 34/78, 34M, 35, 36R, 40R, 41, 47, 48, 48/91, 59, 75/86, 75/25, 78, 91, H5, T5, T6, 124R
4	24MDC, 27, 27F, 49, 65, 94R, H6, H7
5	4, 27M, 27M/DC, 27MDC, 29DC, 29HM, 30H, 31, 31P, 31S, 31T, GC2, GC8
6	4D, 4DLT, 4DM,
7	8D

<sup>b</sup> Fuente. Acumuladores Beto. Diseño Propio

En base a lo anterior, se tiene la lista de precios de los cascos de acumulador (acumuladores que ya terminaron su vida útil y que se recogen para su reciclaje).

TABLA III. LISTA DE PRECIOS DE CASCOS DE ACUMULADORES

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES	PRECIO DEL CASCO AL PÚBLICO
1	U1, U1R, NS40, NS40Z, NS40ZL, 44B19, 85, 99	270
2	21, 21R, 22F, 26, 26R, 42, 42R, 42, 42R, 51, 51R, 58, 58R, 67R, 85, 96R, T4	350
3	24, 24F, 24R, 24M, 24MS, 25, 26/70, 34, 34/78, 34M, 35, 36R, 40R, 41, 47, 48, 48/91, 59, 75/86, 75/25, 78, 91, H5, T5, T6, 124R	460
4	24MDC, 27, 27F, 49, 65, 94R, H6, H7	550
5	4, 27M, 27M/DC, 27MDC, 29DC, 29HM, 30H, 31, 31P, 31S, 31T, GC2, GC8	685
6	4D, 4DLT, 4DM,	1,370
7	8D	1,370

<sup>c</sup> Fuente. Acumuladores Beto. Diseño Propio

Una vez que se cuenta con la información base, se puede partir al proceso que se sigue y al análisis de costeo de esta parte del sistema.

Cuando el detallista solicita al distribuidor que le abastezca de cierta cantidad y modelos de acumulador, este ya debe tener considerada la cantidad y modelo de los que va a devolver; p.e. si su lista de pedido es:

TABLA IV. LISTA DE PEDIDO DE ACUMULADORES

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES SOLICITADOS	CANTIDAD DE CASCOS A ENTREGAR
1	85, 99	2
2	22F, 26, 26R, 42, 42R	5

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES SOLICITADOS	CANTIDAD DE CASCOS A ENTREGAR
3	24F, 24R	2
4	27, 27F, 49, 65	4
5	31P, 31S, 31T	3
6	4DLT	1
7	8D	1
TOTAL DEL PEDIDO	18	18

<sup>d</sup> Fuente. Acumuladores Beto. Diseño Propio

Como se puede apreciar, el casco puede no ser exactamente del modelo que solicitó, solo con que pertenezca al grupo es suficiente.

¿qué pasa si el modelo de casco es diferente al grupo al que pertenece el acumulador que solicitó?

*a) Cuando el casco es más pequeño que el modelo solicitado.*

Llega a suceder que el minorista, tiene para entrega un acumulador más pequeño del modelo que está solicitando. Es entonces cuando se procede a hacer un ajuste. P.e. se solicita en el pedido un modelo 24F y se entrega uno NS40Z.

24F pertenece al grupo 3 y tiene un precio de 460 pesos  
NS40Z pertenece al grupo 1 y tiene un precio de 270 pesos

Por matemáticas simples se obtiene la diferencia de precios:

$$460 - 270 = 190 \text{ pesos}$$

Entonces el minorista debe regresar la cantidad de \$190 pesos al proveedor; lo que se puede hacer en efectivo o a través de un vale (que funciona como una promesa de pago) para que en la próxima compra se ajuste nuevamente ya sea con un casco más grande que otro o si no hay forma en efectivo.

*b) Cuando el casco es más grande que el modelo solicitado.*

En otros casos, el minorista, tiene para entrega un casco más grande con respecto del modelo de acumulador que solicitó. Entonces también se hace ajuste de diversas formas; p.e. se solicita un modelo 22F y se tiene para entrega un 31T.

22F pertenece al grupo 2 y tiene un precio de 350

31T pertenece al grupo 5 y tiene un precio de 685

Por matemáticas simples se obtiene la diferencia de precios:

$$685 - 350 = 335 \text{ pesos}$$

Entonces el minorista tiene en el momento un saldo a favor de \$335 pesos que el proveedor puede manejar de diversas formas que se describen:

- i. Genera un vale a favor del minorista para que en la próxima solicitud de pedido si llega a tener un casco de menor tamaño sea considerado para ajuste.
- ii. Se realiza descuento en la factura que va a pagar por el pedido solicitado. Por lo que se genera el documento correspondiente y se aplica como una factura nueva a favor del minorista.

c) ¿Existen otras combinaciones?.

Claro que sí. Tomando de referencia el inciso a, también se puede pagar un modelo más grande con varios cascos pequeños; por supuesto que deben ser varios que sumen al final lo equivalente en dinero lo que se ha solicitado.

También, el minorista puede contar con más cascos en su haber. Esto debido a que luego hay personas que llegan a venderlos porque ya no los utilizan en casa y con ellos puede llegar a pagar hasta un 40% de su factura del pedido actual, dependiendo del trato que tenga con su proveedor, su antigüedad y otros factores. P.e.

Se hizo un pedido de 10 acumuladores y se cuenta con los 10 cascos para entrega, sin embargo, al público se les compraron otros 10 acumuladores pertenecientes a diferentes grupos en el clasificador. Se haría lo siguiente:

TABLA I. LISTA DE PEDIDO DE ACUMULADORES

CLASIFICACIÓN DE ACUMULADORES	MODELOS DE ACUMULADORES SOLICITADOS	CANTIDAD DE CASCOS A ENTREGAR
1	85, NS40Z	2
2	22F, 42, 42R	3
4	27F, 49, 65	3
5	31P, 31T	2
<b>TOTAL DEL PEDIDO</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

© Fuente. Acumuladores Beto. Diseño Propio

En este caso, se tiene cubierta la cantidad de cascos y lo que se procede a hacer es obtener la suma de los otros 10 cascos, de los cuales el 40% del precio se puede aplicar directamente a la factura actual y el 60% restante se toma a cuenta con un vale a favor del minorista para aplicarse en la próxima compra; quedándole dos opciones: aplicarlo directamente a cambio de cascos o como descuento en la factura de su próxima compra.

Como se puede apreciar la empresa siempre busca recuperar los cascos de alguna forma que convenga a ambas partes.

¿En qué condiciones deben estar los cascos para que sean aceptados?

Es importante aclarar que, para que un casco sea aceptado por el proveedor debe estar completo. Algunas veces por cortos eléctricos los acumuladores llegan a explotar, por lo que al reventarse su estructura se ve afectada. Es posible aceptar un casco así, siempre y cuando estén todas sus partes unidas ya sea amarrándolas o pegándolas de alguna forma, aunque ya no tenga el electrolito.

Hay ocasiones en que las personas las mutilan quitando los bornes, o abriéndolas para extraer materiales y este tipo de cascos puede no ser recibido.

Precisamente porque el sentido de recogerlas para su reciclaje es que se obtenga nuevamente el material base que en este caso es el plomo.

A continuación, en la figura 4 se muestra el proceso de reciclaje del plomo.

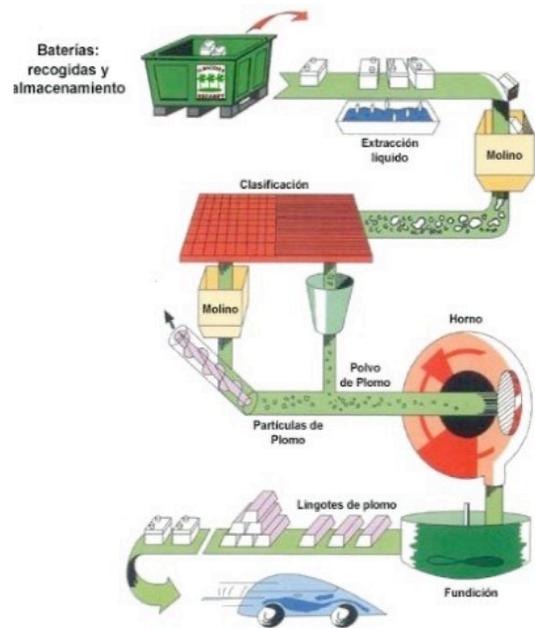


Fig. 4. Proceso de reciclaje del plomo [10]

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

### COSTEO DEL CASO DE ACUMULADORES AUTOMOTRICES.

Una vez contextualizado el caso, se hará el costeo involucrando los diversos factores que intervienen.

Otras consideraciones del proceso que realiza el distribuidor:

- Rango de distancia para proveer  $\leq 100\text{km}$
- Mínimo de 10 acumuladores
- No se visita solo un cliente en el lugar
- Al proveer se aprovecha a recoger
- Se ofrecen productos como aceites, filtros, etc.
- El mismo chofer hace la función administrativa

Retomando del modelo, se tienen los componentes de costos siguientes:

$$CT = \sum_{n=1}^3 \text{Operaciones Logísticas en el Proceso de Retorno de acumuladores}$$

De aquí se tiene que:

$$CT = \sum_{n=1}^3 C_{\text{repartidor}} + \sum_{n=1}^3 C_{\text{distribuidor}} + \sum_{n=1}^3 C_{\text{proveedor}}$$

A continuación, se presentan los componentes que se determinaron en cada fase del proceso.

Costos de repartidor se compone de:

Costos de operación + Costos de manipulación + Costos de transporte

Costos de distribución se compone de:

Costos de manipulación + costos de operación + costos de inventario

Costos de proveedor se compone de:

Costos de transporte + Costos de operador

### CONCLUSIONES.

Las operaciones de la Logística Inversa, al ser una aplicación de la Logística en la cadena de suministro, inician con la recolección de los productos usados, pasando por

operaciones de inspección y en su caso separación, reprocesado, eliminación y, termina con la distribución de los productos recuperados a los clientes.

La importancia de este trabajo, hace resaltar el estudio de los costos relacionados con las operaciones que se realizan en el flujo inverso y que son:

- Los de transporte para recolección de desechos, traslado a procesamiento, y entrega a cliente.
- Los de manejo de inventario de materiales recolectados y/o los usados para proceso.
- Por el manejo de desechos, es decir lo que no se puede recuperar y por ende usar.
- Los de clasificación y diagnóstico de calidad de los materiales, manipulación, reparación y reempaquetado.

En el caso empresarial relacionado con la logística inversa al que se denominó como cerrado, se observa que en todos los factores que intervienen en la cadena de suministro para la entrega y después recolección de acumuladores han sido analizados e integrados de acuerdo a contratos previamente establecidos por la empresa desde el abastecimiento de un acumulador nuevo hasta la recogida de acumuladores usados o dañados.

Si bien existen otras cadenas de suministro inverso como el caso de las relacionadas con la chatarra, existe una oportunidad de emprender negocios con más productos desechados, situación que es importante contemplarse como parte de la ventaja competitiva de los emprendedores y de las políticas medioambientales de las ciudades.

Vale la pena considerar, que el estudio futuro de la logística inversa en cuanto a la dinámica de las operaciones vinculadas al retorno de los productos usados y su posible forma de hacer negocio con ello en el ámbito urbano; apoyará a plantear la gestación de empresas relacionadas con este tipo de actividades, derivadas del consumismo, así como las mejoras que se puedan tener revisando los conceptos de costo y retorno de inversión.

### REFERENCIAS

- [1] Brito, M.P. de, Flapper, S.D.P., Dekker, R. Reverse logistics. Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute., 2002
- [2] CSCMP Council of Supply Chain Management Professionals , 2014[WWW Document]. Disponible en: <http://cscmp.org/about-us/supply-chainmanagement-definitions> (accessed 12.15.14).
- [3] Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, k., Wassenhove, L.N.V. Reverse logistics: Quantitative models for closed-loop supply chains. Springer., 2004
- [4] European Working Group on Reverse Logistics (REVLOG), 2004. REVLOG, 2004.
- [5] Guide, V.D.R., Van Wassenhove, L.N.. The Reverse Supply Chain. Harv. Bus. Rev. 80, , 2002, pág. 25–26. Luttwak, E. A Dictionary of Modern War. Harper & Row, New York, N.Y., 1971

- [6] Hernandez,S. R., Metodología de la Investigación, 6ª. Edición,Mac Graw-Hill,2014
- [7] Rubio,L.S., Jimenez,P.B. La logística Inversa en las ciudades del futuro, 2014 [www.documento], Disponible en: Sergio Rubio Lacoba - Dialnet (unirioja.es)
- [8] Real Academia Española (RAE). Diccionario de la lengua española , 2014 [WWW Document]. Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/?val=logistica> (accessed 12.15.14).
- [9] Rogers, D.S., Lambert, D.M., Croxton, K.L., Garcia-Dastugue, S.J.. The Returns Management Process. Int. J. Logist. Manag. , 2002 (13), pág 1–18
- [10] Tibben-Lembke, R.: «Differences between forward and reverse logistics in a retail environment, supply chain management», An International Journal, volumen 7, 2002, disponible en: <http://www.emeraldinsight.com/1359-8546.htm>
- [11] <https://www.cosmos.com.mx/blog/reciclaje-de-plomo/>.
- [12] <https://www.equaltimes.org/toxica-industria-de-las-baterias?lang=es#.YJc8vbVKi00>

imagenes extraidas.

- <https://i.pinimg.com/originals/3a/86/a7/3a86a7f3c1e98d6d519503b503037105.jpg>
- [https://cdn.w600.comps.canstockphoto.com/ingeniero-f%C3%A1brica-caricatura-eps-vectorial\\_csp14735047.jpg](https://cdn.w600.comps.canstockphoto.com/ingeniero-f%C3%A1brica-caricatura-eps-vectorial_csp14735047.jpg)
- [https://image.freepik.com/vector-gratis/auto-servicio-taller-ilustracion-color-plano\\_82574-1232.jpg](https://image.freepik.com/vector-gratis/auto-servicio-taller-ilustracion-color-plano_82574-1232.jpg)
- [https://cdn.w600.comps.canstockphoto.com/comercial-cami%C3%B3n-caricatura-rojo-vectores-eps\\_csp42183631.jpg](https://cdn.w600.comps.canstockphoto.com/comercial-cami%C3%B3n-caricatura-rojo-vectores-eps_csp42183631.jpg)
- <https://i.pinimg.com/originals/94/be/fb/94befb5049b72d7db47453f104dc1413.jpg>
- <https://image.shutterstock.com/image-vector/warehouse-indoors-flat-vector-illustration-600w-1408205828.jpg>



## **Desarrollo inicial de sistema ciberfísico para la estimación de desperdicio de alimentos en servicios restauraneros**

Reducción de desperdicio de alimentos  
con un enfoque de Logística 4.0

Marco A. Miranda-Ackerman, Karina C. Arredondo-Soto

# Desarrollo inicial de sistema ciberfísico para la estimación de desperdicio de alimentos en servicios restauraneros

## Reducción de desperdicio de alimentos con un enfoque de Logística 4.0

Marco A. Miranda-Ackerman & Karina C. Arredondo-Soto

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería  
Universidad Autónoma de Baja California  
Tijuana, México

[miranda.marco@uabc.edu.mx](mailto:miranda.marco@uabc.edu.mx),  
[karina.arredondo@uabc.edu.mx](mailto:karina.arredondo@uabc.edu.mx)

Elizabeth Sharon Navarrete Moya

Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Morelia, México

**Resumen:** La pérdida y desperdicio de alimentos es un problema importante que debe ser superado para atender las necesidades sociales, económicas y ambientales relacionadas con el objetivo 12 de los Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS) propuestos por la ONU. Los métodos convencionales para estimar el desperdicio se encuentran relacionados con técnicas analógicas basadas en básculas, encuestas, registros manuales, etc. Lo que supone además de una menor fiabilidad en la estimación por error de medición. Ante dicha situación se proponen las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) para generar medios de mejora en las mediciones y estimaciones. La Transformación Digital propone el uso de sistemas ciber-físicos para resolver problemas. Este trabajo propone un prototipo de sistema ciber-físico para la estimación de desperdicio de alimentos en el marco de servicios restauraneros. Donde los consumidores, por varias razones, pueden no consumir las porciones servidas en su totalidad. El prototipo de sistema propone utilizar sistemas de reconocimiento de patrones y de inteligencia artificial para contabilizar con mayor precisión y velocidad (posiblemente en tiempo real) el desperdicio de alimentos. Utilizando bases de datos que integran fotografías de platos servidos con alimentos, aunado a la recolección de datos de peso, volumen, área, color y textura, pasando por un motor de inferencia o sistema experto que estimara el desperdicio desagregado de los alimentos de modo que facilitara la recolección de información posiblemente en tiempo real. Con el fin de tomar mejores decisiones a nivel usuario (i.e. el proveedor de servicio restauranero) reduciendo desperdicios sin reducir la satisfacción del comensal. A escala local, estatal y nacional puede proporcionar una manera de contabilizar con mayor exactitud el desperdicio de alimentos. Logrando arrojar cifras concretas que sustenten los sistemas de toma de decisiones político-económicas.

**Palabras Clave:** pérdida y desperdicio de alimentos; estimación de desperdicio de alimentos; industria 4.0; sistemas ciber-físicos; producción y consumo responsable

### I. INTRODUCCIÓN

En el marco de los Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS) como sub-objetivo se encuentra el 12.3 Reducción de Pérdida y Desperdicio de Alimentos. Este sub-objetivo se vincula con otros objetivos importantes de los ODS. A nivel nacional también aborda la importante prioridad de Soberanía Alimentaria. La reducción de pérdida (ver figura 1) y desperdicio (ver figura 2) de alimentos (RPDA) es un fenómeno global con soluciones locales. De acuerdo con el Reporte 2021 Índice de desperdicio de alimentos de la ONU, se cree que 17% de los alimentos globales se desperdician donde el 29% se atribuye a los servicios alimentarios. Un componente importante en el esfuerzo de RPDA es el desperdicio, que se define por la etapa en que el alimento es descartado, esto es, una vez pasando por los procesamientos pos-cosecha. En el caso de servicios restauraneros se tiene desperdicio de alimentos en varias etapas: almacenamiento, preparación, presentación y post-consumo. Es la etapa del post-consumo que se centra la propuesta. Para poder reducir el desperdicio de alimento la primera etapa es conocer cuánto se tiene (desperdicio de alimento). Es importante mencionar que en términos convencionales una vez que llega la etapa post-consumo no hay nueva retroalimentación con el servidor sobre las porciones consumidas, por lo que se puede trabajar bajo propuestas de oferta lejos del patrón de presentación-consumo óptimo para la empresa y el consumidor. Ya que proveer alimento que no serán consumidos por comensal no lo incentiva a comprar más, por lo que no hay un incentivo al productor de ofrecer más. Mientras existe más conciencia socio ambiental y de soberanía alimentaria habrá más incentivos para que las empresas proveedoras de servicio de alimentos proporcionen alternativas a los consumidores de *consumir más responsablemente* y por consecuencias *producir y vender más responsablemente*.

Actualmente la medición de desperdicio de alimentos se realiza de manera manual con medición de peso, normalmente no implica una clasificación de los componentes del desperdicio, esto es, aun y cuando se mide el desperdicio de alimentos post-consumo, se desconoce qué tipos de alimentos lo integran. Los alimentos tienen diferentes valores nutricionales y calóricos. A su vez la producción de alimentos requiere diferentes insumos y proporciones de recursos. Los alimentos de origen animal requieren en lo general más energía y agua que los de origen vegetal. Los alimentos de producción industrial masiva como las harinas generalmente contienen menor diversidad de nutrientes que las hortalizas y legumbres. Y existen concentraciones de energía calórica diferentes entre, por ejemplo, un gramo de mantequilla y un gramo de frijol. Teniendo en cuenta lo anterior el componente de nutrición puede ser abordado con las herramientas que promueven la llamada *transformación digital* [1], tanto como los sistemas ciber-físicos. Donde se puede capitalizar en la capacidad de reconocimiento de patrones y velocidad de cómputo de sistemas digitales comerciales para poder desagregar la composición del desperdicio de un plato post-consumo. Conociendo no solo la cantidad en área, volumen y/o peso del desperdicio total de un plato o un cesto de basura, sino a más detalle conocer cuánto de cada preparado de alimentos (e.g. frijol refrito o chorizo con papa) que ofrece el establecimiento se ha desperdiciado. Y por lo tanto el valor nutricional perdido. Usando esta misma desagregación y con información como la que provee los estudios de Análisis de Ciclo de Vida se puede estimar otros daños e impactos a la salud y el medio ambiente vinculados al desperdicio de alimentos.

## II. ANTECEDENTES

### A. Medición del desperdicio de alimentos

La estimación de desperdicio de alimentos supone un reto, ya que se enfrenta a una realidad diversa de oportunidades. En un inicio se parte de la falta de segregación entre la pérdida de alimentos que es la disminución de la masa de alimentos comestibles dentro de la cadena de suministro mediante daños naturales o antropogénicos (producción, poscosecha, transporte y procesamiento de alimentos) y desperdicio de alimento como la disminución de alimentos en las últimas etapas comprendiendo a minoristas y consumidores (está relacionado con la caducidad del producto, la vida en anaquel y las sobras de comida). (ver figura 1 y 2), seguido de una metodología no estandarizada en la cuantificación, provocando baja fiabilidad sobre los datos de estimaciones. La gran mayoría de estudios relacionados a la estimación se encuentran marcados por una tendencia a la manualidad y al trabajo humano, prestando la mayor atención a las características de peso y volumen, encuestas dirigidas a generar datos a la globalidad sin mucha exactitud, provocando imprecisión en los resultados obtenidos. Entre las metodologías más usadas se encuentra el pesaje directo evaluando el volumen, análisis de composición a partir de la observación, cuestionarios o formularios. Estas medidas se aplican sin mayor supervisión y estandarización.



Fig. 1 Pérdida de alimento.

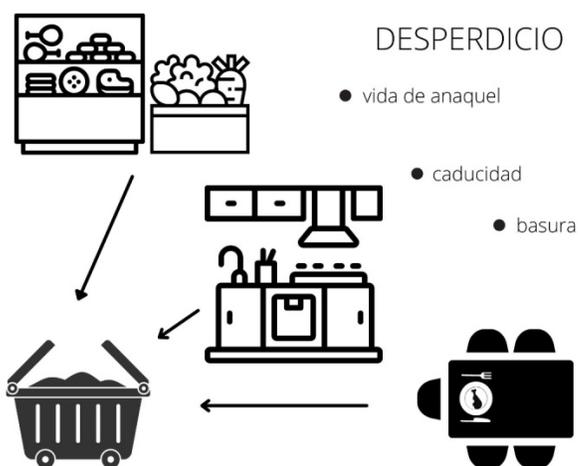


Fig. 2. Desperdicio de alimentos.

El tema de estimación en servicios de alimentos se centra en proporcionar información general sobre la pérdida de alimentos además de evaluar el nivel de desperdicio y su composición. Como ejemplo estos 4 estudios presentan una visión clara de lo anteriormente mencionado. El primer caso presenta una aproximación a la composición de desperdicio de alimentos; la metodología se basa en cuestionarios y pesaje a través de básculas, genera resultados óptimos para comparación entre estudios similares, pero baja posibilidad de generalización a otras escalas [2]. El segundo caso nos habla de la estimación del volumen y composición de desperdicio de alimentos en diversos tipos de servicios de alimentos (muestra más grande) con un periodo de tiempo corto; la metodología que se emplea se basa en diarios, peso de alimentos y entrevistas, arrojando datos aproximados y adecuados para comparación de estudios similares, sin embargo, la confiabilidad es insuficiente debido a la poca información y escasos estudios complementarios [3]. El tercer caso nos expone un estudio de estimación de desperdicio para diversos servicios de alimentos en un periodo

más extenso de tiempo; la metodología utiliza balanzas para el pesaje de desperdicio, papel y lápiz, provocando baja confiabilidad en el tipo de método de estimación y que no exista una representatividad a mayor escala[4]. Para el último caso se habla de la estimación de desperdicios de alimentos y un sistema de seguimiento; la metodología implica formularios de registro de desperdicio, básculas, estimaciones visuales y una plataforma digital de seguimiento, pese a esto, la calidad de los datos sigue siendo baja debido a poca estandarización y subjetividad de los métodos de estimación [5].

Con el seguimiento de estos artículos, se aprecia que la metodología de estimación no ha tenido cambios significativos a pesar de reportar las mismas deficiencias en cuanto a la calidad de datos proporcionados y la necesidad de eficientizar las estimaciones. Lo que provoca que estos estudios no tengan la representatividad suficiente para hablar de diferentes sectores de servicios de alimentos y que los datos puedan ser tomados en cuenta para la toma de decisiones municipales, estatales o globales.

### B. Sistemas ciber-físicos y la transformación digital

Los sistemas ciber-físicos no son algo nuevo. No obstante, con la llegada de la llama la transformación digital su potencial ha aumentado. La transformación digital se refiere a la evolución que ha sufrido el sector de sistemas digitales como sensores, microprocesadores y otros sistemas al ser tan eficientes, baratos y accesibles. Aunado al incremento de capacidad de procesamiento de los sistemas de cómputo y la conectividad ubicua al internet con la llegada de dispositivos móviles por telefonía celular, ha creado una condición especial, permitiendo nuevas posibilidades de implementación de TICs en sectores que habían sido abordados de manera limitada dadas las barreras de costo y complejidad que existían y que se han ido superando y simplificando. Algunos argumentan que dado el empuje de la innovación las organizaciones están obligadas a implementar la transformación digital para mantener su derecho a existir [6]. Sectores como el de agricultura, salud y bienestar, fabricación, entre otros han implementado exitosamente sistemas digitales tales como robots automatizados, drones aéreos y rovers terrestres, sensores agroclimáticos conectados al Internet, recolección de información biométrica y biomecánica con los relojes inteligentes, fábricas completamente automatizadas y la fabricación aditiva descentralizada.

Entre las herramientas que provee la transformación digital está la conectividad y el uso de sensores para integrarse a las operaciones y decisiones de humanos, creando así sistemas ciber-físicos. El componente de conectividad ha dado paso a la incorporación de sistemas WIFI y tecnología celular con capacidad de conectividad al internet, aunque también existe la conectividad de otras formas como Bluetooth. Estas tecnologías ayudan a superar los problemas de interoperabilidad que se presentan cuando se interconectan sistemas digitales con diferentes estándares y protecciones de propiedad intelectual[7]. Por otra parte, el uso de sensores es cada vez más accesible dada la misma interoperabilidad y los bajos precios de fabricación. Esto permite que se implemente en nuevos escenarios. Aunado

a los sensores y cámaras, se tienen los avances tecnológicos en reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes. Esto se ha vuelto más común dado que se requería gran capacidad de almacenamiento y de procesamiento para poder implementar los algoritmos necesarios para poder procesar imágenes. Sin embargo ahora se tienen grandes avances en el procesamiento de imágenes de alimentos[8]. Con grandes capacidades de procesamiento al alcance de todos se ha vuelto parte de la cultura popular el concepto de Ciencia de Datos y Big Data. Al poder recolectar información de sensores de cámaras multispectrales, básculas digitales y otros sensores se puede utilizar algoritmos para inferir valores y conocer más del objeto de estudio. Algunos de los que tienen mayor potencial para poder integrar información que se genere con el sistema ciber-físico propuesto son los conocidos Sistemas Expertos y de Ayuda a la Toma de Decisiones. Donde con el uso de marcos conceptuales como son las Redes Neuronales Artificiales, Lógica Difusa y Máquinas de Soporte Vectorial pueden ayudar a enmarcar una estimación exacta de las variables de respuesta que se busca mejorar (e.g. desperdicio de alimentos desagregado y sus derivados nutricionales [9], energía calórica e impacto ambiental[10][11].

## III. METODOLOGÍA

La metodología general de este trabajo se fundamenta en *Pensamiento de Diseño* (Design Thinking). Busca lograr empatía entre usuarios, creador y partes interesadas. A su vez implementa en la práctica el diseño como un medio de recolección de experiencias y datos, de manera iterativa. Propone una serie de pasos básicos, similares a los del proceso de diseño convencional, con un vocabulario especial: Empatía (levantamiento de requerimientos), Definición (propuesta de valor), Ideación (conceptualización del sistema), Prototipado (construcción iterativa del sistema) y Testeo (retroalimentación y mejora).

Aún más integra otros conceptos, paradigmas y procesos de diseño:

### a. Diseño de Sistemas

El *diseño de sistemas* es un proceso de diseño que devine requerimientos para poder crear arquitecturas, elementos, interfaces y enmarcamientos de decisiones en la creación de un sistema. Con frecuencia se usa para el desarrollo de nuevos productos o servicios. Dos propuestas de la metodología son el *diseño lógico* y el *diseño físico*. En el primero se representa de manera abstracta los elementos básicos del sistema. Con frecuencia se usa modelación matemática o computacional. Extrae los elementos importantes del sistema y su interacción con su entorno. El segundo, *diseño físico*, define requisitos de sistemas: de entrada, salida, almacenamiento, procesamiento, control, seguridad. Estos elementos forman la interfaz con el usuario del sistema, las bases de datos y los procesos de análisis de datos.

### b. Sistema Ciber-Físico

Son sistemas computacionales que controlan mecanismos que monitorean a través de algoritmos. Los componentes físicos interactúan con su entorno bajo el mando de sistemas computacionales que pueden estar conectados de manera digital

con otros sistemas. Con frecuencia son utilizados en el sector de la industria, transporte, y productos mecatrónicos. Dada la conectividad tan ubicua de las TIC los sistemas ciber-físicos son más comunes en nuestra vida diaria. En consecuencia, origina una vía para integrar operaciones manuales como son las de medición y estimación de desperdicio de alimentos a través de sistemas que integren esa información de manera semiautomatizada.

### c. Procesamiento de Datos

El sistema ciber-físico que se propone intenta recolectar información de manera más precisa, exacta y eficiente que por medios tradicionales ya mencionados. La información recolectada por el sistema ciber-físico, plantea, sea procesada con algoritmos de procesamiento de imágenes y de reconocimiento de patrones.

Al recolectar información a través de los sensores (cámaras digitales) y la báscula digital se crea información que puede servir de insumo a algoritmos de predicción e inferencia. Usando los datos de color, textura, volumen, entre otros posibles, se crean modelos de reconocimiento de tipos de alimentos de un plato. Integrando esta información a sistemas de ayuda a la decisión basados en algoritmos como redes neuronales artificiales y sistemas de lógica difusa para integrar un sistema recomendador o de ayuda a la toma decisiones.

### d. Sistema Soporte a la Decisión

El sistema de soporte a la decisión (SSD) integra de manera computacional los datos y los presenta en una interfaz al usuario que le ayude a tomar mejores decisiones de manera local. De manera global también genera información y metainformación (nivel de precisión, intervalos de confianza, localización geográfica, etc.) que sirven en un contexto más amplio de estimación de desperdicio de alimentos para bases de datos con mayor alcance en su resolución espaciotemporal. Por ejemplo, recolección de datos para una base de datos de la ciudad, estado, región o el país entero.

## IV. RESULTADOS

El proyecto está en su fase inicial de propuesta. Pasando por los procesos de Empatizar, Definición e Ideación. Con esto se construirá el prototipo. En la etapa de Ideación se llegó a un esquema genérico del sistema. (ver figura 3)

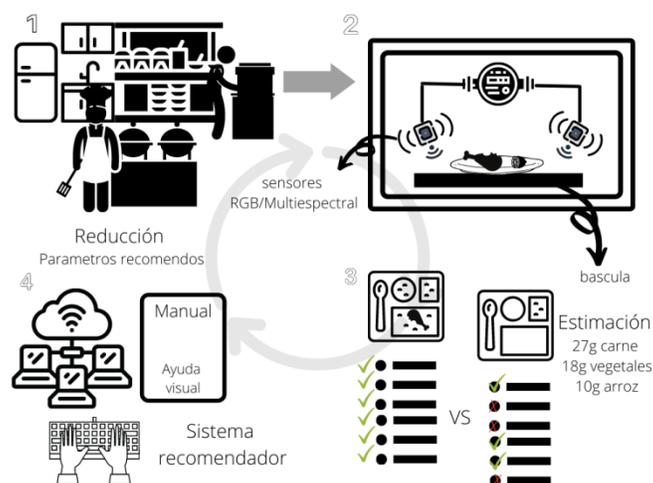


Fig. 3. Diseño conceptual del Sistema de Estimación de Desperdicio de Alimentos Digital (SEDAD)

Este esquema recorre los pasos del uso del SEDAD:

1. **Servir alimentos en plato.** En esta etapa el servidor utiliza una ayuda visual y un cucharón estándar para servir los diferentes alimentos a un plato estándar. Cabe mencionar que los alimentos están preparados con mediciones estandarizadas para poder asistir al sistema inteligente. Esto consiste en cortar y preparar alimentos siguiendo un recetario y procedimientos con el objetivo de disminuir la variabilidad de los platillos diseñados. Estos platillos diseñados deben ser consistentes para aumentar la precisión del SEDAD.
2. **Recolección de datos.** Una vez que el comensal termina de consumir sus alimentos regresa su plato a un cesto con el SEDAD integrado. Esto también puede hacerse por meseros o limpiadores. El plato es ingresado al SEDAD donde los sensores de báscula, RGB y multispectrales, toman fotografías y lecturas. Una vez concluido el ciclo de recolección de la información el comensal o mesero retira el plato, desecha los alimentos para llevarse el plato a limpiar.
3. **Procesamiento de datos.** Al tener información sobre los platillos consumidos y los alimentos restantes del ciclo de consumo se ejecutan varios algoritmos. Principalmente se estima el área y volumen de los preparados de alimentos, antes de estimar áreas y volúmenes, se busca catalogar cada bulto de alimento dejado en plato. Esto es para poder conocer el tipo de alimento que es de manera desagregada. Por ejemplo, si un (1) plato tiene frijol, arroz y carne de res, (2) se identifican los restos de alimentos, (3) se estima su área y volumen, y se mide el peso de báscula (ver figura 4)



Fig. 4. Ejemplo de estimación de desperdicio

4. **Sistema de Soporte a la Decisión.** En este paso se utiliza la información que alimenta un sistema recomendador. Donde un analista puede utilizar el nuevo conocimiento para poder tomar decisiones sobre cómo preparar, servir y cobrar los alimentos. Se hacen referencias cruzadas con bases de nutrición y de impacto ambiental. Por lo que se puede conocer valores de criterios de interés en la selección de alternativas que se pueden tomar. Se puede realizar Análisis de Decisiones Multi criterio y llegar a la mejor alternativa compromiso.
5. **Retroalimentación al sistema.** En esta etapa se puede modificar los instrumentos de preparación de plato, ayudas visuales y otros soportes al servidor para que se refleje el ciclo iterativo de optimización de recursos. Para que el siguiente ciclo de comensales pueda recibir la cantidad de alimentos que minimice su desperdicio y que posiblemente reduzca el precio que deba pagar.

Cabe mencionar que dado la pandemia se han tenido varios retos de consolidación del proyecto. Sin embargo, con la latente apretura de las universidades se propone continuar con la fase de prototipo y testeo.

## V. CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

El desperdicio de alimentos sucede en varias etapas del proceso de alimentación. Cada etapa tiene sus oportunidades para poder mejorar tanto la medición como la reducción de desperdicio. Las nuevas tecnologías de la información y comunicación han logrado la llegada de la conocida Industria 4.0 que integra la implementación de una o más tecnologías tales como la robótica, drones, manufactura aditiva, Internet de las Cosas, entre otras para solucionar problemas y eficientizar sistemas. Un paradigma alineado a Industria 4.0 es la llamada Logística 4.0. Que capitaliza en los avances en conectividad, el bajo costo de sensores y procesamiento de información para optimizar los sistemas de producción y servicio relacionados a las operaciones de organizaciones. Con el potencial de mejorar varios sistemas y organizaciones tanto públicas como privadas. La propuesta que se hace aborda el problema específico de estimación de desperdicio de alimentos en escenarios restauranteros. Sin embargo, otros escenarios similares tales como los hospitalarios y escolares son objetivo de esta propuesta. Utilizando las ventajas que provee la Logística 4.0 para entender y mejorar operaciones. La reducción de desperdicio de alimentos impacta en varios aspectos de la sociedad, el principal siendo la salud y el medio ambiente. La salud en gran medida depende del acceso económico a nutrición

digna. Esto solo se logra con un mercado de productos alimenticios asequibles y nutritivos. Al tener menor desperdicio se tiene mayor oportunidad de alimentar a más gente de mejor manera. El medio ambiente sufre a partir de la industrialización de la producción de alimentos en masa. La utilización de agua y agroquímicos en exceso tiene impactos nocivos para los ecosistemas y sus servicios. Por lo que al reducir el desperdicio de alimentos se contribuye a la disminución del consumo de recursos naturales, y de la contaminación de los ecosistemas a partir de la producción no sustentable de alimentos en masa. Aunado a esto están los temas de interés nacional como es la soberanía alimentaria. Al existir necesidades importantes en México de nutrir y de lograr independizarnos de la dependencia alimentaria a los mercados globales de alimentos, la disminución de desperdicio de alimentos contribuye a dicho objetivo. Finalmente, la sociedad trabaja mucho para lograr una vida digna. Al lograr eficientizar sistemas de servicio de alimentos se ayuda a reducir desperdicios económicos, que a su vez podrían traducirse en ahorros al consumidor y al brindador de servicio. Promoviendo de manera global la producción y consumo responsable de alimentos preparados.

Vale la pena agregar como elemento de discusión que existen varias oportunidades de agregar otros componentes importantes de análisis basado en principios de Logística 4.0. Por ejemplo, también se podrían tomar fotografías antes de servir el plato. Con esto se podría hacer una comparación no solo del desperdicio total sino en relación con la cantidad servida. Se podría utilizar sistemas de QR o RFID para identificar los platos al momento de servir y de registrar las fotografías. Ayudando a mantener un control más preciso de la información en términos de referencias cruzadas. Aún más se puede integrar la información en sistemas recomendadores para los servidores utilizando tecnologías de Realidad Aumentada (RA). Donde el servidor puede ver en el espacio digitalmente aumentado la cantidad de alimento que se debe servir. Estandarizando de mejor manera las porciones que se logran a optimizar con los sistemas propuestos en este documento. Otra integración potencial sería la de utilizar servidores o equipos de apoyo a servidores automatizados o parcialmente automatizados para poder garantizar esta estandarización.

Sin embargo, todas estas propuestas requieren una reflexión del costo social, económico y ambiental que pueden tener. Que rara vez es incluido en términos de la aplicación de Logística 4.0.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo PRODEP NPTC de la Secretaría de Educación Pública. A su vez al programa de Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNAM ENES Morelia por su programa de estancias de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Annosi MC, Brunetta F, Bimbo F, et al. Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices. *Industrial Marketing Management* 2021; 93: 208–220.
- [2] Betz A, Buchli J, Göbel C, et al. Food waste in the Swiss food service industry – Magnitude and potential for reduction. *Waste Management* 2015; 35: 218–226.
- [3] Silvennoinen K, Katajajuuri JM, Hartikainen H, et al. Food waste volume and composition in the Finnish supply chain: special focus on food service sector. *Proceedings Venice*.
- [4] Eriksson M, Persson Osowski C, Malefors C, et al. Quantification of food waste in public catering services – A case study from a Swedish municipality. *Waste Management* 2017; 61: 415–422.
- [5] Silvennoinen K, Nisonen S, Pietiläinen O. Food waste case study and monitoring developing in Finnish food services. *Waste Management* 2019; 97: 97–104.
- [6] Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems* 2019; 28: 118–144.
- [7] Pan S, Trentesaux D, McFarlane D, et al. Digital interoperability and transformation in logistics and supply chain management: Editorial. *Computers in Industry* 2021; 129: 103462.
- [8] Jia B, Wang W, Ni X, et al. Essential processing methods of hyperspectral images of agricultural and food products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2020; 198: 103936.
- [9] Garcia-Herrero I, Margallo M, Laso J, et al. Nutritional data management of food losses and waste under a life cycle approach: Case study of the Spanish agri-food system. *Journal of Food Composition and Analysis* 2019; 82: 103223.
- [10] Subramanian K, Chopra SS, Wharton CM, et al. Mapping the food waste-energy-water-emissions nexus at commercial kitchens: A systems approach for a more sustainable food service sector. *Journal of Cleaner Production* 2021; 301: 126856.
- [11] Camaréra S. Artificial intelligence in the design of the transitions to sustainable food systems. *Journal of Cleaner Production* 2020; 271: 122574.



## **La sustentabilidad en las cadenas de suministro: percepción del sector productivo del sur de Sinaloa**

María Guadalupe Velarde Rodríguez, Jesús Pascual Matías López.

# La sustentabilidad en las cadenas de suministro: percepción del sector productivo del sur de Sinaloa

María Guadalupe Velarde Rodríguez

Unidad Académica en Ing. en Logística y Transporte  
Universidad Politécnica de Sinaloa, UPSIN  
Mazatlán, Sinaloa, México  
[mvelarde@upsin.edu.mx](mailto:mvelarde@upsin.edu.mx)

Jesús Pascual Matías López

Estudiante de Ingeniería en Transporte  
Instituto Politécnico Nacional, IPN  
Ciudad de México, México.  
[jmatias11500@alumno.ipn.mx](mailto:jmatias11500@alumno.ipn.mx)

**Resumen:** *La investigación presenta una revisión documental sobre los conceptos inmersos en una cadena de suministro sustentable, su importancia e impacto en la productividad y competitividad que proporciona a las empresas revestidas bajo este término. Para ello, se analizaron 50 artículos científicos bajo el contexto Nacional e Internacional. Una vez analizados dichos casos, se persiguió como objetivo central, conocer la percepción del sector productivo del sur de Sinaloa, sobre la importancia de este concepto y de aterrizarlo en la operación de las cadenas, a través de prácticas. Por tanto, se aplicó un instrumento para recabar información en un piloto de empresas. Se utilizó como base un instrumento previo, mismo que se mejoró en cada rubro y se orientó a conocer el grado de cumplimiento de las mismas. Posteriormente, se detectaron las áreas críticas en temas como: falta de prácticas para la reducción de gases contaminantes, falta de equipos para la reducción de consumo de energía eléctrica, falta de prácticas eficientes en el suministro de agua, falta de tratamiento de residuos no peligrosos y falta de prácticas que fomenten el uso de energía alternativa y combustibles menos contaminantes. Como trabajo futuro, se tiene la implementación del instrumento, a mayor escala, en las cadenas agroindustriales del Estado de Sinaloa, por ser un sector de alta participación económica en la región. Todo ello, para integrar la información en un compendio, fomentar su divulgación y trabajar en propuestas integrales, en beneficio de las operaciones sustentables.*

**Palabras Clave—** *sustentabilidad en la cadena, instrumento, percepción, prácticas y áreas de oportunidad.*

## I. INTRODUCCION

Algunas de las nuevas tendencias en la operación de las cadenas de suministro, integran como parte estratégica, el uso de prácticas sustentables en los distintos procesos que la conforman. El concepto de sustentabilidad avoca una optimización y cuidado de los recursos ambientales, económicos y sociales, y, suele tener un impacto muy positivo en la administración de la cadena, desde la inclusión del personal, mejora en el ambiente laboral, cambios en el tipo de insumos, hasta el tratamiento y posterior uso de sus residuos.

En la habilitación de la cadena bajo este concepto, será necesario la definición del mismo en la estrategia corporativa y su alineación en los planes de acción de todos los niveles de operación. Dentro de esta estrategia, es indispensable seleccionar los elementos de impacto, con sus respectivos objetivos, metas e indicadores de seguimiento y control. Para ello, suelen considerarse cuatro rubros comunes de impacto: consumo de energía, consumo de agua, consumo de materiales y generación de residuos. Sin embargo, la inclusión del personal y el desarrollo humano, es un elemento contemporáneo de acción en materia de sustentabilidad empresarial, como actores clave, en el desarrollo y ejecución de propuestas de procesos sustentables a nivel sistema.

En la presente investigación se muestra el análisis de los 50 marcos teóricos, cuya intención fue conocer la divulgación científica de los conceptos relacionados a nivel internacional, nacional y local, así como las distintas prácticas sustentables de las cadenas de suministro inmersas. Posteriormente, se muestra la implementación de un instrumento para conocer la percepción y el uso de conceptos y prácticas sustentables en el piloto de empresas del sur de Sinaloa. para finalizar con un análisis sobre las áreas críticas y oportunidades de mejora.

### A. Objetivo

Como objetivo general se tuvo analizar marcos teóricos a nivel nacional e internacional para encontrar similitudes y diferencias sobre los conceptos inmersos en una cadena de suministro sustentable y su impacto en la productividad y competitividad. Como conocimiento situado, se buscó conocer y analizar la percepción del sector productivo del sur de Sinaloa, en cuanto a las prácticas sustentables a lo largo de la cadena, esto mediante la implementación de un instrumento y la adecuación del mismo en un piloto de empresas de la localidad, para medir el grado de importancia y el grado de cumplimiento. Todo ello, como una oportunidad primaria de documentar y divulgar la importancia y prácticas sustentables en la región sur, que pueda servir como un diagnóstico para tratamiento futuro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

El concepto de sustentabilidad se ha venido perfeccionando desde hace décadas, ya que existen documentos que avalan los cuestionamientos sobre el uso desmesurado de los recursos naturales y la necesidad de preservarlos. Tal como, en 1962, la bióloga Rachel Carson escribió el libro: *Primavera Silenciosa*, detallando escenarios de un futuro con terribles consecuencias, debido al proceso de degradación producido por la contaminación ambiental [1]. Por su parte, en 1983 se crea la comisión mundial de medio ambiente y desarrollo de las Naciones Unidas, donde se estipula el concepto de desarrollo sustentable como:

“la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras” [1].

Partiendo de este concepto, surge el interés de estudiar el papel que juegan las cadenas de suministro, como generadoras de bienes y/o servicios, y sus operaciones sustentables a lo largo de la misma cadena. En este sentido [2], menciona la importancia de la unificación de prácticas medio ambientales a lo largo de los procesos de la cadena de suministro, donde los actores tomadores de decisiones son un eje central, con impacto positivo en el diseño, proveeduría, fabricación y las entregas al cliente final. Esto con el fin de que, cada vez, la cadena de suministro vaya madurando hacia la operación de procesos con ciclo cerrado; donde, teóricamente, se devuelve el producto al final de su vida útil, a los procesos de fabricación.

Esto habla de la importancia de encontrar un equilibrio entre los insumos de alta calidad, el precio, el proceso inmerso en su obtención y el bienestar humano a largo plazo. Es por eso que, se considera una habilidad en la gestión de la cadena, el lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo, capaz de incidir en la calidad de vida de las personas de forma positiva y buscando la protección de los sistemas naturales del planeta. Ya que, si no existieran estos recursos, no habría ningún tipo de actividad económica.

El factor de sustentabilidad en la operación de las cadenas de suministro, está fuertemente relacionado con las estrategias contemporáneas de alto impacto, esto porque la gestión de la cadena puede incurrir entre el 45 y 50% de los costos totales. Por tanto, una gestión diferenciada, con una propuesta de valor innovadora, permite marcar una posición competitiva a las empresas que las practican. Todo ello, porque el contexto actual de los mercados, demandan cada vez más, productos y/o servicios con esta característica; no solo, que cumplan las necesidades de los clientes, sino con un valor agregado, en materia de impacto ecológico, reflejado en la reputación de la marca, por encaminar sus procesos hacia la sustentabilidad. [2]

De acuerdo a la referencia [3], en el entorno competitivo actual y global, la mayoría de las empresas buscan no fallar, en uno de los procesos más importantes en la gestión de su cadena de suministro sustentable; que es la selección de sus proveedores. Este proceso juega un papel importante en la determinación del costo, la calidad, el desempeño y la satisfacción del cliente.

Es aquí, donde de manera inicial, el área de compras debe gestionar la adquisición de insumos, no solo al mejor precio, calidad, y menor tiempos de entrega; sino con la cualidad de usar procesos sustentables en la producción del insumo. Sin, duda, esto requiere proveedores formados y con capacidad de apostar a este tipo de prácticas en pro al ambiente. De esta forma, se puede iniciar la articulación de una cadena de suministro sustentable.

En cuanto a la perspectiva de [4]. Plantea la importancia de contar con indicadores de sustentabilidad, para ir midiendo el avance del compromiso medioambiental a lo largo de la cadena y que no se quede en la implementación de prácticas aisladas, sino de continuidad. Para construirlos, lo primero a realizar es definir cuáles son los elementos de la cadena que están bajo control, para ello, se pueden considerar cuatro grandes rubros: Consumo de energía, consumo de agua, consumo de materiales y generación de residuos.

De igual forma [1], menciona que: “la cuantificación de la sustentabilidad es un reto”, porque es muy complejo su estudio holístico en las distintas dimensiones, y porque es crucial la comprensión de sus efectos y la intervención próxima a la realidad de sus afectados.

Para tal fin aborda una metodología MESMIS, (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de sustentabilidad), como la herramienta que permite detectar, estandarizar y ponderar las tendencias y relaciones entre las diferentes dimensiones relacionadas al concepto de sustentabilidad, con el empleo adecuado de indicadores que conduzcan al entendimiento de aspectos robustos y complejos en otros más claros y que puedan explicar el nivel del sistema. En este sentido, resulta oportuno comentar que, el contexto, el sujeto de medición y el método de medición, forman un papel muy importante, ya que deben ser definidas dentro de una escala alcanzable.

En cuanto a [5], describe los desafíos de la sustentabilidad en la industria agroalimentaria. A partir de los conceptos y prácticas emergentes se desarrollaron propuestas y expectativas generales sobre cómo las organizaciones pueden abordar la eficacia sustentable en sus cadenas de suministro. Se concluye que las innovaciones orientadas a la sustentabilidad en la cadena de suministro agroalimentaria son medulares, muy específicas para cada tipo de cadena y no definitivas. Por lo que, el evaluar los múltiples factores internos y externos donde esté inmersa la cadena, puede favorecer la eficiencia en dicha implementación.

Por otra parte, es común encontrar investigaciones donde muestran como sinónimos los conceptos de sustentabilidad y sostenibilidad de las cadenas de suministro, y cadenas de suministro verdes. Así que, se abordarán como tal, ya que no es tema de esta investigación aclarar dichas diferencias. Puesto que, la intención fue: conocer la percepción y el compromiso medioambiental que tienen las empresas; punto de coincidencia entre dichos conceptos.

Es así como en [6], se muestra un análisis documental sobre la producción científica de la Gestión de la Cadena de Suministro Verde (GSCM), por sus siglas en inglés. La muestra estuvo compuesta por 169 artículos con diferentes

metodologías, siendo China y Estados Unidos, los países con mayor número de publicaciones. En este análisis se formaron las categorías de: estudios de caso, métodos de gestión, impulsores, producción resultados, medio ambiente y sustentabilidad, prácticas y procesos, teorías y tecnologías organizacionales.

Otro caso relevante es, la investigación realizada por [7], donde se presenta un análisis de 47 artículos científicos, publicados entre los años 2003 y 2015, en donde comentan que los investigadores parecen tener restricciones en abordar la logística inversa en las operaciones diarias de consumo (por ejemplo, el descarte de aceite lubricante para vehículos, lámparas, vidrio, plástico y embalajes). Se concluyó que la logística inversa todavía puede ser más ampliamente explotada, ya que hay diversidades y especificaciones de los sectores, funciones y flujos involucrados.

En cuanto a las prácticas comunes que definen la sustentabilidad en las cadenas, se encuentran: las buenas prácticas operativas, capaz de fomentar el reciclaje, la reutilización y la reducción del uso de recursos o insumos; procesos de compras enfocados en abastecer recursos adecuados, con un sistema integral, que incluya el desarrollo de proveedores y sistemas de producción sustentables, así como, la colaboración con clientes y proveedores sustentables; uso de energía alternativa, etiquetado sustentable, innovación sustentable, responsabilidad social, uso de la logística inversa, gestión y habilitación ecológica. [7], [8] y [10]. También hay diversas investigaciones que exploran la integración de los problemas sociales en la gestión de las cadenas. [9]

Un tema de interés para diversos autores, es la comprobación sobre la evolución de la gestión ambiental y su relación positiva con la adopción de prácticas en la Gestión de la Cadena de Suministro (GSCM). Tal como la referencia [11], menciona la realización de una encuesta a 100 empresas brasileñas del sector electrónico. Los resultados más relevantes indican que, las prácticas de GSCM están orientadas hacia la recuperación de la inversión de los recursos, tales como la reventa de chatarra y otros desechos, además, están alineadas en el cumplimiento con la legislación y auditoría ambiental. A través de la declaración de una hipótesis, y su validación estadística, se demostró que la evolución de la gestión ambiental influye positivamente en la adopción de prácticas de GSCM.

Un aspecto crucial es la innovación en la estrategia de sustentabilidad en las empresas, en tal sentido [12], muestra el efecto de la innovación verde en la relación entre la gestión y el desempeño de la cadena de suministro de empresas brasileñas del sector químico. Los resultados revelaron el perfil proactivo de innovación verde y una relación directa entre la gestión de la cadena de suministro y el rendimiento. También destaca que, las empresas químicas han despertado a las prácticas GSCM, con actitudes que van más allá de las regulaciones, a través de la integración de iniciativas verdes para mejorar el desempeño ambiental.

Por otro lado, algunos autores tienen la inferencia que, las empresas con certificaciones internacionales en sistemas de gestión medioambiental presentan afinidad para las prácticas de GSCM [13]. Una de las razones es porque tienen la cultura

de mejora continua desarrollada y porque las prácticas sustentables están alineadas a la planeación estratégica de las empresas. La práctica más adoptada por las empresas fue la gestión de residuos, sin embargo, es necesario se apueste a la reintegración total de dichos residuos a las cadenas, lo que propicie una manufactura circular.

Así como la referencia [14], expone una metodología para la construcción de un indicador del tipo multicriterio, capaz de evaluar el desempeño ambiental desde el enfoque GSCM, basado en ocho procesos y 32 actividades detectadas en la revisión de literatura. El indicador fue aplicado en un grupo de 14 empresas de la región cafetalera de Colombia. Los resultados indican un desempeño heterogéneo entre las empresas analizadas y un rezago importante en algunos procesos. Finalmente, se comenta que, el indicador propuesto puede ser mejorado, mediante el uso de métodos de ponderación que permitan valorar la consistencia de los expertos con miras a mejorar la fiabilidad de la jerarquía obtenida, también resulta conveniente realizar un análisis multivariado que permita establecer correlaciones entre el desempeño de las 32 actividades identificadas y otras variables como el desempeño financiero y la percepción de los interesados.

Sin dejar atrás a la referencia [15], quien centra los esfuerzos de su investigación en evaluar la relación entre las prioridades competitivas: calidad, entrega, costo, y flexibilidad y el desarrollo de prácticas GSCM, a través de la mediación de una de las dimensiones de “Lean, Total Quality Management” (TQM). El estudio se aplicó en 123 empresas de Bogotá, Colombia, que participan en un programa de la Secretaría Distrital de Ambiente. Los hallazgos del estudio ofrecen evidencia sobre el papel mediador de TQM, principalmente la integración de proveedores, en la asociación de las prioridades competitivas, calidad y entrega, y las prácticas GSCM. Sin duda, el proveedor es el principal aliado en la cadena, para iniciar con el despliegue de prácticas sustentables.

Mientras que la referencia [16], trata sobre la posibilidad de incorporar la logística inversa como prioridad competitiva y describe la estrategia de producción utilizada por el sector industrial del estado Mérida, Venezuela. Con especial importancia, hablan sobre una estrategia de producción que considere una mínima contaminación ambiental y prácticas de control en el consumo de agua. Al mismo tiempo, hace alusión a las distintas fases que el sector industrial atraviesa para llegar a la, inclusión del cuidado ambiental, como elemento competitivo durante la gestión de la cadena.

En la primera fase las empresas se encuentran reactivas, solo responden al cumplimiento de las regulaciones gubernamentales en materia ambiental, posterior, incurren en la fase de obtener la certificación ISO 14000. En la tercera fase, se busca una reducción en las emisiones y afluentes, sustituidos o no generados, gracias al reemplazo de materiales, el reciclado o innovaciones en el proceso. En esta fase, se acepta la responsabilidad por los daños que puedan ocasionar los productos, desde su producción hasta su cumplimiento del ciclo de vida. Es aquí donde se da un trabajo colegiado con los proveedores, clientes y competidores para el logro de objetivos

comunes, como la recolección de desechos, el reciclaje y el etiquetado de productos “verdes” [16].

Mientras tanto, la referencia [18], presenta el caso de las empresas automotrices brasileñas, en materia de prácticas sustentables como prioridad competitiva, enfocadas en diversos aspectos; uno de ellos, la reducción de residuos. La relación entre la logística inversa y la gestión integral de residuos sólidos, permite agregar valor a los materiales con posibilidad de reincorporarlos al sector productivo [19].

La logística inversa es definida por la referencia [16], como: “la gestión del flujo de productos destinados al reprocesamiento, reciclado, reutilización o destrucción, incluyendo para ello las correspondientes actividades de recogida, acondicionamiento y desensamblado”.

Aunque existe conocimiento de la temática en sectores estratégicos como el industrial, es necesario fortalecer y desarrollar estrategias que permitan que los actuadores o responsables de tomar decisiones, cuenten con una mejor claridad y evaluación de los beneficios económicos, sociales y ambientales asociados con su aplicación en la Gestión Integral y Sostenible de Residuos Sólidos. Es bien sabido que, el éxito de la logística inversa depende de los actores clave de la operación de las cadenas en sinergia con los clientes, proveedores y sociedad. Por tanto, es necesario que el marco regulatorio estimule su aplicación.

Respecto al contexto nacional, México, ha adquirido fuertes compromisos en favor del cuidado al medio ambiente, tal es el acuerdo de París, firmado el 12 de diciembre de 2015, [20]. El trato, tiene por objeto reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 2 grados Celsius. En tal documento, existe el compromiso de reducir el consumo absoluto de combustibles fósiles para el año 2026.

Es por ello que, las empresas mexicanas, cada vez muestran más apego al desarrollo de prácticas sustentables en las operaciones de la cadena de suministro. Esto les ha permitido dar cumplimiento regulatorio y alcanzar eficiencias económicas. “Todos los cambios a favor del medio ambiente también son buenos para el resultado final” [21].

Esto es muy positivo, debido a que México cuenta con más de cinco millones de unidades económicas registradas, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Por lo tanto, es crucial que las empresas se sumen a la reducción de bióxido de carbono equivalente, no solo las fábricas que emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, sino toda su cadena de suministro, trabajar en cada eslabón para mitigar sus efectos.

Resaltando la investigación realizada en [22], donde se muestra una síntesis de los reportes de sustentabilidad de las empresas grupo BIMBO, Gruma y Hérdex, en el cual se muestran las dimensiones de la sustentabilidad: económica, ambiental y social. Resalta el incremento año con año sobre las prácticas sustentables dentro de sus operaciones para disminuir la huella de carbono, el cumplimiento en normativas, el aumento del valor de sus procesos, el comercio justo, el fomento del vínculo con sus colaboradores y el fortalecimiento en el desarrollo comunitario.

Además, la referencia [23], menciona en su investigación, la evaluación de las fortalezas y debilidades de organizaciones de productores, que han implantado esquemas sustentables de manejo de recursos maderables y no maderables en distintas regiones de Chiapas. Encuentran una crítica dependencia de las transferencias monetarias gubernamentales, para lograr una mayor capitalización y autonomía financiera, no solo para ampliar la base de capital físico, sino sus capacidades instaladas y a su vez repercute en la menor capacidad de lograr implantar prácticas sustentables.

La referencia [24], expone aspectos que conforman la cadena productiva y de valor de la Agroindustria Azucarera en el Estado de Puebla, con el fin de presentar la problemática en las diferentes etapas de la cadena de producción, para poder visualizar las opciones de políticas ambientales y garantizar la sustentabilidad en la industria azucarera. Se concluye que, hace falta la verificación de cumplimiento del marco normativo por parte de las autoridades competentes, que puedan contar con información fiable y que pueda conducir a la toma de decisiones asertivas.

Tal como, la referencia [25], presenta en su investigación una revisión de literatura con el fin de obtener un panorama de la SSCM (Sustainable Supply Chain Management) y las pymes mexicanas con inversión nacional. Los resultados muestran que aún existen varios vacíos teóricos a nivel estratégico, táctico y operacional, por lo cual, no es posible generalizar modelos conceptuales y matemáticos, ni tampoco es posible generalizar dicha teoría entre economías emergentes y desarrolladas. A pesar de lo anterior, se puede asegurar que, la incentivación de la SSCM en las pymes mexicanas, puede generar altos beneficios, con gran impacto en la sostenibilidad de los negocios.

La Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia comenta que, México está posicionado como una de las 12 potencias productoras de alimentos, representa 285 millones de toneladas y se estima que para el año 2050 será necesario aumentar 70% la producción de alimentos, lo cual deberá ser en un medio sustentable, cuidando de manera especial los recursos como el agua y el suelo [26].

Continuando, con la perspectiva regional, a pesar de que Sinaloa, provee el 30% de la producción agrícola de México, de los 11 millones de toneladas producidas, solo el 15% recibe valor agregado mediante la agroindustria. La actividad agroindustrial ocupa el 78% del total de la actividad manufacturera en el estado. Asimismo, el Plan Estatal de Desarrollo de Sinaloa (2017-2021), contempla estrategias clave para el desarrollo económico, una de ellas es: “fomentar las prácticas sustentables en el manejo de los recursos (tierra, agua, bosques y variedades vegetales y animales) y el uso de combustibles sustentables como el gas natural” [29]. Siendo este considerado como el combustible fósil con menor impacto medioambiental, tanto en la etapa de extracción, elaboración y transporte, como en la fase de utilización [30].

Así como el Plan Maestro Sinaloa sustentable, identifica como objetivo definir y establecer prácticas ambientales específicas para determinadas actividades productivas, cuyo cumplimiento permita la obtención de Certificados Ambientales Estatales, otorgados por la respectiva

organización que se constituya para el efecto y que cuente con el aval de una de una certificadora internacional [26].

Por su parte, La agenda Estatal de Innovación de Sinaloa (AEI), muestra el resultado del trabajo realizado para obtener una visión clara de las oportunidades que presentan diversas actividades económicas de la región, en concreto en el sector agroindustrial; no existe el uso racional y sustentable de los recursos naturales [27]. Por otra parte, identifica como una oportunidad el acceso a una nueva fuente de energía, de bajo costo, que permita ser más rentable y menos contaminante; tal como el gas natural y el uso de biomasa. Esto porque, la zona sur de Sinaloa, destaca por aportar con 94,549 de 131,084 toneladas de biomasa residual de mango y en la producción de biomasa residual de pescado con 129,204 de las 139,217 toneladas producidas. En este sentido, se observa una fuerte necesidad de atención y una gran oportunidad de reuso y transformación a subproductos con alto valor comercial.

En cuanto al contexto local, la presente investigación toma como base los resultados de un trabajo previo, sobre la percepción del concepto e importancia de la sustentabilidad en la cadena de suministro de los sectores productivos del sur de Sinaloa [28]. En el mismo, se comenta sobre un piloto realizado en 21 empresas ubicadas en el sur de Sinaloa. Se partió de un diseño de instrumento, validado por un grupo de 6 expertos y se evaluó su consistencia con el alfa de cronbach, con un alfa superior a 0.70.

Una de las áreas de oportunidad detectadas entre los distintos sectores, fue la falta de sustentabilidad en las cadenas; entre las las principales causas se encontraron: falta de integración de la cadena de suministro, falta de una estructura logística sólida en las empresas, falta del uso de energías alternas, falta de maquinaria innovadora y con bajo impacto ambiental, falta de capacitación y personal especializado, falta de vinculación con el sector gobierno y académico y falta inversión en innovación.

### III. METODOLOGÍA

Para la comprensión del contexto nacional e internacional, se realizó una investigación cualitativa de tipo documental y descriptiva. Se revisaron 50 marcos teóricos para la obtención de la información del tema. Se reunió el material bibliográfico, se identificaron los conceptos de interés y coincidencias. La búsqueda se basó en los impulsores de la empresa para la sustentabilidad de la cadena de suministro, de acuerdo a los principios del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, el cual se considera una plataforma de políticas como un marco práctico para las compañías que están comprometidas con sustentabilidad y prácticas de negocios responsables [31]. Las palabras clave buscadas fueron: Sustentabilidad, prácticas sustentables, control de eficiencia energética, manejo y tratamiento de residuos, suministro y tratamiento de agua, normativa ambiental, emisiones a la atmósfera, inclusión del personal y no discriminación e innovación en prácticas sustentables.

Para el contexto local, se tomó como base un instrumento aplicado en el año 2018, con la intención de conocer la percepción de los responsables de las cadenas en cuanto al

concepto de sustentabilidad y las prácticas sustentables que puedan fortalecer la competitividad de su cadena.

El instrumento utilizado fue una lista de cotejo de 12 rubros a escala Likert, donde 1 se refiere a que el rubro no es importante y 5 se refiere a que el rubro es decisivamente importante atenderlo como práctica sustentable dentro de la cadena. Los rubros del instrumento están enlazados a los impulsores de la empresa para la sustentabilidad de la cadena de suministro, de acuerdo al Pacto Mundial de las Naciones Unidas, donde se mencionan tres ejes: administración de los riesgos de negocio (azul), realización de eficiencias (amarillo) y crear productos sustentables (verde) [31]. En la Fig. 1 se muestra el instrumento con los 12 rubros y el enlace hacia cada impulsor.

Impulsor para la sustentabilidad en la cadena de suministro	#	Variable	Entrevistador		Empresa		Fecha		Folio	
			Investigador UPS N							
			1	2	3	4	5			
			No es importante	Mediamente importante	Importante	Muy importante	Decisivamente importante	Comentarios		
Administración de los riesgos	1	Control de emisiones de gases de efecto invernadero y planes de acción que permitan disminuirlos								
Realización de eficiencias	2	Control de eficiencia energética								
Administración de los riesgos	3	Cuidado del suministro de agua								
Administración de los riesgos	4	Tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos								
Realización de eficiencias	5	Uso de transporte amigable con el medio ambiente, es decir con el menor impacto ecológico posible								
Crear productos sustentables	6	Uso de energías alternas en los procesos de la cadena de suministro								
Administración de los riesgos	7	Cumplimiento a la normatividad ambiental								
Administración de los riesgos	8	Inclusión del personal en las diversas áreas y puestos								
Administración de los riesgos	9	Fomento a la equidad y no discriminación en toda la administración de la cadena								
Realización de eficiencias	10	Prácticas de optimización de recursos de manera periódica con el personal								
Crear productos sustentables	11	Innovación y desarrollo aplicado para la mejora de los procesos y hacerlos más óptimos								
Crear productos sustentables	12	Capacitación del personal en la sustentabilidad de la cadena, principios, beneficios e indicadores								

Fig. 1. Instrumento de percepción del sector  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se adecuó el instrumento para conocer una aproximación al grado de cumplimiento en dichas prácticas. De igual forma, se utilizó una escala Likert, donde 1 representa menor cumplimiento y 5 mayor cumplimiento. Cabe mencionar que, es la misma lista de cotejo de 12 rubros, con la diferencia de que cada rubro está desarrollado con acciones específicas, dando un total de 48, basadas en las coincidencias de prácticas sustentables, producto del análisis documental realizado en los marcos teóricos. El interés fue conocer la perspectiva interna de cada empresa en cuanto a la importancia de la sustentabilidad en la cadena de suministro y una aproximación al cumplimiento de las prácticas sustentables señaladas en el instrumento. Debido a que el instrumento es extenso se presenta el desarrollo del rubro 2. *Control de eficiencia energética* (Ver Fig. 2).

Instrumento para la evaluación del grado de cumplimiento de prácticas sustentables							
Nombre de la empresa:			Nombre del aplicador:				
Fecha de aplicación:			Folio:				
Instrucciones: marque con una X, el grado de cumplimiento de cada variable como práctica sustentable en su cadena.							
Número	Variable	Donde: 1: significa menor cumplimiento y 5: mayor cumplimiento					
2	<b>Control de eficiencia energética</b>						
	2.01	Contar con equipos que contribuyan al menor uso de energía					
	2.02	Seguimiento de una contabilidad energética					
	2.03	Tener un control energético en cada parte del proceso logístico					
	2.04	Formación del personal en materia energética					
	2.05	Informar al director o gerente de la situación energética					
	2.06	Aislamiento térmico en almacenes y fabricas agroindustriales					
	2.07	Implementación de un buen sistema de control y regulación de climatización					
	2.08	Implementación de sistemas de refrigeración: enfriamiento evaporativo					
	2.09	Contar con un sistema de iluminación eficiente					
2.1	Contar con equipos de cogeneración						

Fig. 2. Instrumento de cumplimiento de prácticas sustentables  
Fuente: Elaboración propia

Las aplicaciones de los instrumentos se realizaron a través de una entrevista del tipo semi estructurada por los medios: telefónico, correo electrónico y personal, ya que se contó con la limitante de la disposición del tiempo del personal directivo. Fue un muestreo intencional y dirigido. Las entrevistas se aplicaron en el segundo semestre del año 2019 y en el primer semestre del año 2020, en 32 empresas del sur de Sinaloa, de los giros industrial y de servicios. Finalmente, se detectaron las áreas de oportunidad y se formularon conclusiones.

#### IV. RESULTADOS

Como primera fase se presenta el análisis de la información recabada en los marcos teóricos, sobre los elementos integradores del concepto sustentabilidad y las prácticas sustentables en las cadenas, bajo el contexto nacional e internacional. El 66% se enfocó a la identificación de prácticas sustentables y el 34 % a los conceptos inmersos en la sustentabilidad. Esto habla sobre la importancia de reforzar la línea base conceptual de la sustentabilidad alineada al sentido de las prácticas sustentables, que en ocasiones se realizan de forma aislada, sin comprender una base conceptual, hecho que coincide con las observaciones registradas durante la aplicación del instrumento de percepción.

Asimismo, la Fig. 3, muestra los estudios de caso por sector, como se aprecia el mayor porcentaje, el 40%, corresponde al análisis de prácticas sustentables en el sector agroindustrial, seguida del 24% del sector industrial manufacturero y el 12% del sector automotriz.

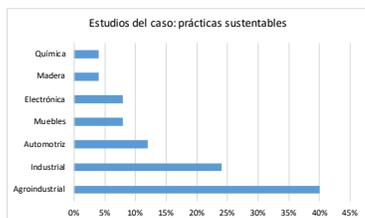


Fig. 3. Prácticas sustentables por sector  
Fuente: Elaboración propia

De igual forma, surgió el interés de comprender qué tipo de prácticas sustentables se realizaban dentro de las cadenas de valor. La cadena de valor se refiere al desarrollo de las actividades en una empresa para generar valor para sus clientes, estas actividades se dividen en proceso primarios y de soporte.

Es así como la Fig. 4 muestra el tipo de prácticas sustentables en la cadena de valor analizadas en la literatura, se puede observar que el 30% corresponde al tipo de prácticas de red global de colaboración, sobre todo entre proveedores, la manufactura, la transportación y la vinculación con el sector gobierno, que estimula el uso de prácticas verdes, mediante políticas medio ambientales. Esto atiende a la dinámica actual de las empresas, bajo la óptica ganar ganar entre los miembros de la red de colaboración, con la ventaja de lograr flexibilidad y adaptabilidad a los contextos, en un marco de operación sustentable. También resalta con 20% la literatura encontrada sobre el uso de manufactura verde y logística inversa, como prácticas sustentables necesarias en todos los giros y todos los tamaños.

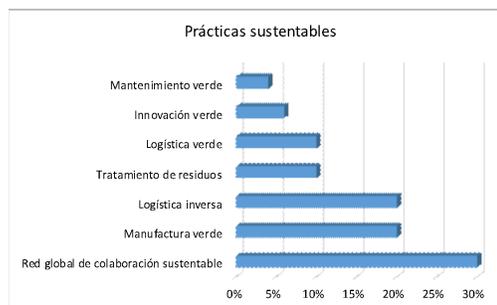


Fig. 4. Prácticas sustentables en la cadena de valor  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el 100% de las fuentes analizadas coinciden en la relación directa entre el concepto de sustentabilidad, la práctica del mismo dentro de la cadena de valor y la ventaja competitiva que aporta a las empresas, no solo, el impacto ecológico, sino el económico y el social. Esto porque genera un ambiente de trabajo colaborativo y de compromiso hacia la mejora del ambiente interno y externo de la empresa, también porque se fortalece la marca ante los clientes y la comunidad.

Como segunda fase se muestra el análisis de resultados sobre la implementación del instrumento para conocer la percepción del sector productivo en cuanto a los conceptos y prácticas de sustentabilidad de la cadena, ubicado en el sur de Sinaloa. El índice de consistencia de las respuestas alfa de cronbach fue de 0.87, lo que supone alta consistencia y genera confianza para analizar los resultados.

En la Fig. 5, se aprecia que el mayor porcentaje de encuestados, 68.75%, consideran como decisivamente importante y muy importante, controlar las emisiones a la atmósfera, así como desarrollar planes de acción, con la intención de disminuir el efecto de la contaminación de sus procesos; no solo, los que se refieren a la transformación de insumos, sino, todos los que forman parte de la operación de la cadena. Así que, se puede inferir la necesidad de fomentar la sustentabilidad para llegar a ese 100%, ya que como país, se

tiene el compromiso de llegar a cero emisiones a la atmósfera por combustibles fósiles para el año 2026, de acuerdo al protocolo de París, firmado el 12 de diciembre del año 2015.

Para el control de la eficiencia energética, se tiene que el 81.25% valora entre decisivamente importante y muy importante (Fig. 5). De acuerdo a los comentarios en las entrevistas esto refleja una relación directa de la práctica sustentable con la ventaja económica que les aporta en el control de recursos.

De igual forma para el suministro de agua, la Fig. 5, muestra que el 94%, valora como decisivamente importante y muy importante, debido a que en los sectores industriales es un recurso que utilizan en gran cantidad para la operación y mantenimiento de sus procesos, externan la necesidad de cuidarla.

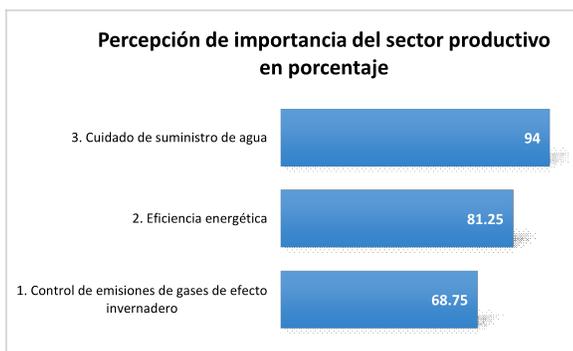


Fig. 5. Percepción del sector productivo sobre los rubros 1 a 3 del instrumento  
Fuente: Elaboración propia

Así como, la Fig. 6 muestra la percepción del sector productivo en el tratamiento de residuos peligrosos, el uso de transporte amigable con el medio ambiente y el uso de energías alternas en la cadena. Por su parte, el 87.5% de los encuestados valoran como decisivamente importante y muy importante tratar los residuos peligrosos dentro de su cadena. Dentro de sus comentarios, externan la relación primaria con el cumplimiento a la normativa ambiental, además, el factor social, y la necesidad de garantizar un espacio seguro para trabajar.

Mientras que, el 53.1% valora como decisivamente importante y muy importante, usar transporte amigable con el medio ambiente, tanto para su cadena de distribución, como para el uso de su flotilla en aspectos no operativos. Los comentarios registrados en las entrevistas revelan la necesidad de buscar alternativas flexibles y alcanzables, en relación al costo-beneficio. Actualmente lo consideran como una práctica costosa e inalcanzable para algunas empresas.

De igual forma, el 84.3% valora como decisivamente importante y muy importante, usar energías alternas dentro de las operaciones de su cadena, factor crucial, que puede despertar el interés en invertir en esas energías y contribuir a la reducción de emisiones a la atmósfera. Los comentarios registrados señalan que la mayoría está incluyendo este tipo de prácticas dentro de su planeación estratégica.



Fig. 6. Percepción del sector productivo sobre los rubros 4 al 6 del instrumento  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la perspectiva de cumplimiento a la normativa ambiental, el 94% valora entre decisivamente importante y muy importante. Aspecto muy positivo, ya que, según las fuentes analizadas, existe una relación positiva, entre el reconocimiento de la importancia que el tomador de decisiones de la cadena le dé a la sustentabilidad y su implementación real en las operaciones. Sin dejar atrás que, el 81.25% considera como decisivamente importante y muy importante, fomentar la inclusión del personal en distintos puestos y áreas, con ello bucar la equidad y la no discriminación. Dentro de los comentarios afirman que cada vez más se alinean a normativas de inclusión y la ventaja que les representa para generar un ambiente laboral sano. (Fig. 7).

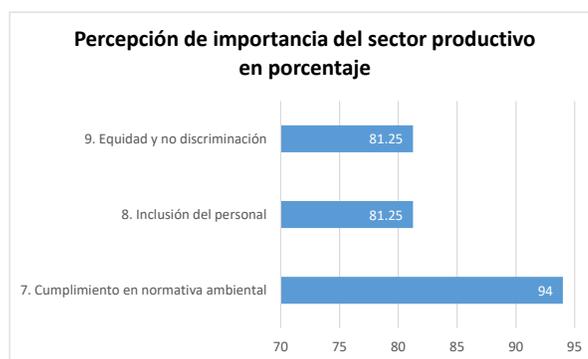


Fig. 7. Percepción del sector productivo sobre los rubros 7 al 9 del instrumento  
Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la Fig. 8 se muestra la percepción del sector productivo en los rubros de prácticas para optimización de recursos, prácticas de innovación y desarrollo y capacitación en principios e indicadores de sustentabilidad. Es así como el 62.5%, valora entre muy importante y decisivamente importante, el realizar prácticas de optimización de recursos de manera periódica con el personal. De acuerdo a los comentarios de los entrevistados, se está trabajando para que dentro de la cadena de valor se propicie la proactividad de los empleados, para la propuestas de ideas de mejora, pero con enfoque sustentable, situación que favorece en gran medida un ajuste en su cultura empresarial, apegada a un sistema de mejora continua sustentable.

Otro aspecto relevante, son las prácticas de optimización, innovación y desarrollo, ya que el 81.25% valora como muy importante y decisivamente importante; lo que sorprende, ya que afirman que también lo ven como un fuerte obstáculo en la operación eficiente de la cadena, es decir; sí reconocen la importancia de aplicar prácticas innovadoras en pro de la optimización de las cadenas; pero al momento de generar innovación, existe una brecha en su transferencia, sobre todo, en el costo-beneficio, lo que impide la incorporación de tecnologías de alto impacto en algunos procesos, incluyendo los procesos administrativos.

Una perspectiva de especial interés, fue conocer la percepción del sector en cuanto a la capacitación del personal en relación a sustentabilidad. La Fig. 8, presenta que el 69% valora como decisivamente importante y muy importante capacitar al personal en los principios e indicadores de la sustentabilidad de la cadena. Esto se puede interpretar como la necesidad de que el sector se apegue más a la formación sustentable de los dueños de los procesos de la cadena, es decir, buscar un enfoque de abajo hacia arriba, iniciar con el análisis de procesos e integrar los indicadores que darán soporte a la estrategia empresarial.

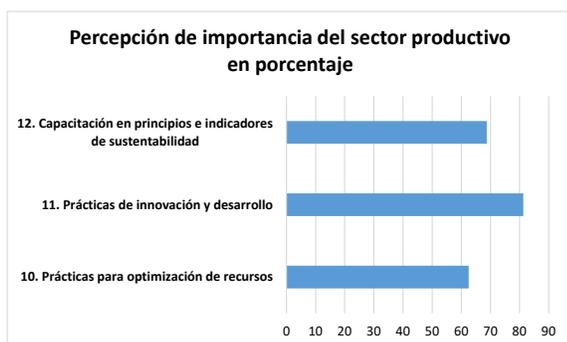


Fig. 8. Percepción del sector productivo sobre los rubros 7 al 9 del instrumento  
Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis correlacional, con la intención de conocer el grado de explicación entre las distintas respuestas. Para las respuestas de las preguntas 1,2, 3, 4 y 7, la relación de r de Pearson fue media de 0.61, por lo que se considera una correlación positiva entre la percepción de las emisiones a la atmósfera, el control de eficiencia energética, el control de consumo de agua, la importancia del tratamiento de residuos y la importancia del cumplimiento a la normativa ambiental, esto supone que, si implementan prácticas sustentables en alguno de los rubros mencionados, así lo harán para el resto (Ver Fig. 9).

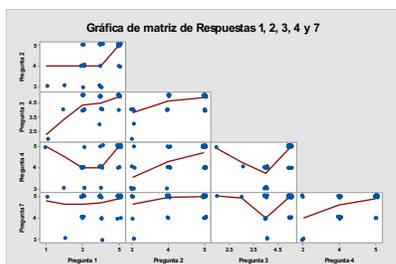


Fig. 9. Correlación entre respuestas de 1,2,3,4 y 7  
Fuente: Elaboración propia

La Fig.10 muestra la correlación entre la pregunta 5-uso de transporte amigable con el medio ambiente y la pregunta 6- el uso de energías alternas en la cadena. Se observa una correlación de Pearson de 0.63, un índice de consistencia de cronbach de 0.77, esto significa un grado de relación media, es decir puede favorecer el uso de energías alternas en el uso de transporte amigable con el medio ambiente. Aspecto positivo porque permitiría abarcar las prácticas sustentables hasta los procesos de distribución de la cadena.

Correlación de Pearson de Pregunta 5 y Pregunta 6 = 0.635

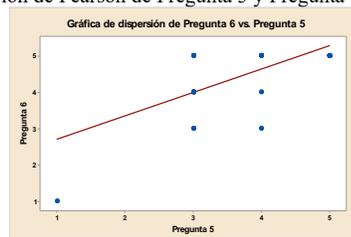


Fig. 10. Transporte amigable medio ambiente y el uso de energías alternas  
Fuente: Elaboración propia

La Fig. 11 contiene la correlación entre la pregunta 8- percepción del sector en la inclusión del personal y la pregunta 9- fomento a la equidad y no discriminación del personal, se obtuvo una correlación de Pearson de 0.82, se infiere una dependencia alta y positiva. Esto refleja congruencia en las respuestas de los entrevistados.

Correlación de Pearson de Pregunta 8 y Pregunta 9 = 0.821

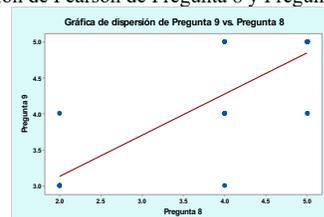


Fig. 11. Inclusión del personal y el fomento a la equidad  
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la Fig. 12, muestra una correlación baja, un valor de r 0.357, entre las respuestas de 10- las prácticas para la optimización de recursos y 11-las prácticas donde se involucra innovación. Esto refuerza los comentarios del sector, que a pesar de que sí realizan dichas prácticas para optimizar, algunas de ellas carecen de innovación, debido a la brecha desde su investigación, desarrollo y su transferencia.

Correlación de Pearson de Pregunta 10 y Pregunta 11 = 0.357

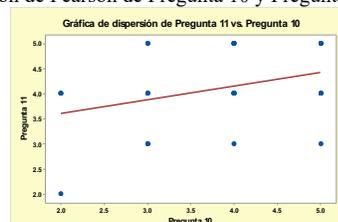


Fig. 12. Prácticas para la optimización de recursos y las prácticas de innovación  
Fuente: Elaboración propia

También se obtuvo que no existe correlación entre las respuestas de 8-inclusión del personal y la 12-capacitación del mismo en prácticas sustentables, la r de Pearson fue de 0.30 y el valor de p de 0.079. Esto habla de la necesidad de que la capacitación también sea incluyente, no solo en la operación de los procesos, sino en su formación y habilitación de competencias en temas y prácticas sustentables, con la intención de aprovechar al máximo el capital intelectual.

Tampoco entre las respuestas de 7-cumplimiento a normativa ambiental y 12-capacitación en principios y prácticas sustentables, puesto que la r de Pearson de 0.33 y una p de 0.058. Lo que refleja una oportunidad para el sector, ya que se esperaría una relación directa en cuanto a la percepción de importancia, entre más capacitado esté el personal en principios y prácticas sustentables puede favorecer el cumplimiento en la normativa ambiental.

Como tercera fase de resultados, se muestran algunos análisis gráficos del rediseño del instrumento, la diferencia es que, se agregaron varios puntos de evaluación por cada categoría, 12 categorías iniciales, para dar un total 48 puntos. Cabe mencionar que no se solicitó evidencia de dicho cumplimiento, pues la investigación pretendió mostrar la percepción del sector sur de Sinaloa, en el cumplimiento de las prácticas sustentables.

Se observa, que el 60% de las empresas contestaron que muy frecuentemente implementan prácticas para el control de emisiones de gases de efecto invernadero y el 40% frecuentemente. Esto habla del compromiso con la sustentabilidad y con la necesidad de continuar apostando por prácticas de valor para los sectores, donde no actúen de manera aislada, sino integradas a una filosofía de mejora continua sustentable, totalmente preventiva y sostenible en el tiempo.

Por su parte, la Fig. 13, muestra que el 60% afirma que cuenta con equipo para tratar los gases vertidos a la atmósfera, de forma muy frecuente y el 40% lo realiza de forma frecuente. Asimismo, el 80% cuenta con prácticas para reducir los gases contaminantes en su cadena. Lo que significa que cada vez más los sectores investigados, van atendiendo las disposiciones normativas para generar el menor impacto ambiental posible.

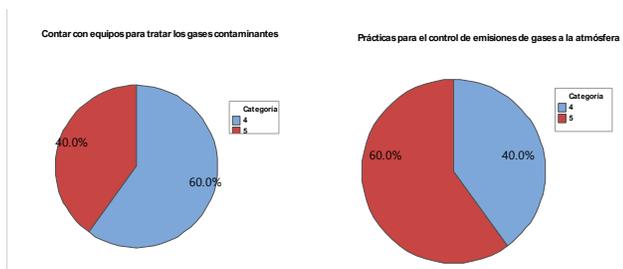


Fig. 13. Prácticas para disminuir gases de EI.  
Fuente: Elaboración propia

Un aspecto crucial es la implementación de acciones e indicadores de control que permitan medir, de alguna forma, el compromiso de la empresa con la sustentabilidad. La Fig. 14 muestra que el 60% de las cadenas evaluadas dan seguimiento a una contabilidad energética y tienen un control energético en cada proceso logístico, de forma frecuente y muy frecuentemente, respectivamente. También, el 60%, realiza formación de personal de forma muy frecuente. Por otra parte,

el 40% cuenta con aislamiento térmico de calidad en almacenes y fábricas agroindustriales. Lo que representa un área de oportunidad, el contar con un aislamiento térmico en las unidades de almacenamiento permite optimizar los recursos e impactar directamente en la eficiencia energética.

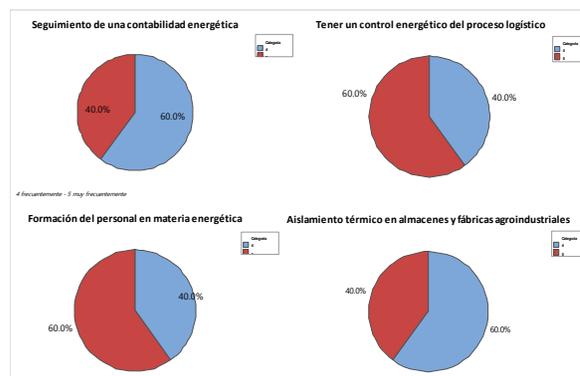


Fig. 14. Seguimiento de control y contabilidad energética  
Fuente: Elaboración propia

La Fig. 15, muestra que el 40% implementa acciones para contar con un sistema de iluminación eficiente de forma frecuente y el 60% de manera muy frecuente. Así como el 60% comenta que implementa sistemas de refrigeración eficiente de forma muy frecuente y el 40% de forma frecuente. Esto refleja una madurez en el sector en esta práctica, ya que afirman la relación entre estas prácticas y el impacto en la productividad laboral.

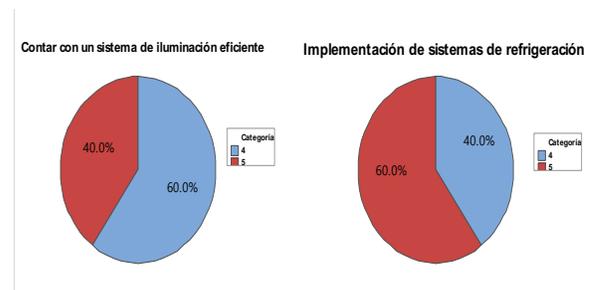


Fig. 15. Sistema de iluminación eficiente y de refrigeración  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto al rubro de consumo de agua y tratamiento de aguas residuales, el 60% cuenta con equipos para favorecer el ahorro del consumo de agua dentro de los proceso y también cuentan con tecnología instalada para tratar el agua residual. Por otra arte, el 80% afirmó contar con equipos para tratar desechos sólidos, de forma rutinaria. Esto porque el sector reconoce la ventaja que representa la optimización de los recursos en los rubros: económico, ambiental y social.

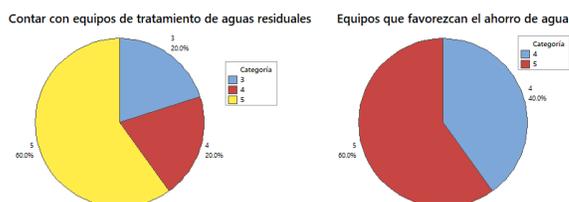


Fig. 16. Equipos para ahorrar agua y tratar aguas residuales  
Fuente: Elaboración propia

Sin dejar atrás que, el 20% de los encuestados, afirmó usar combustibles menos contaminantes en la operación de sus cadenas, y un 60% con grado de cumplimiento medio, pero con tendencia hacia cada vez más utilizar este tipo de combustibles. Asimismo, el 20%, afirmó que tiene procesos de logística inversa eficientes y un 80% que cuenta con ellos, aunque con oportunidad de mejora, en algunos de ellos.

Otro rubro medido es el involucramiento de los proveedores y clientes, en este sentido, se obtuvo que el 60% de las cadenas realizan ejercicios para la definición de metas ambientales compartidas, de forma frecuente y un 40% de forma regular. Lo que representa una oportunidad para alinear la sustentabilidad en toda la cadena, ya que inicia precisamente en la gestión con proveedores.

Un rubro importante que se investigó fue la utilización de la biomasa residual, en este sentido, el 60% afirmó reutilizarlo en pocos volúmenes y un 40% de forma media, lo que representa una oportunidad, sobre todo para las cadenas del giro agroindustrial, quienes pueden generar subproductos de valor comercial, con este recurso poco aprovechado; una de las razones que externan es por la falta de conocimiento en temas específicos del aprovechamiento de la biomasa, en este sentido la vinculación con el sector académico juega un papel muy importante a explotar. (Fig. 17).

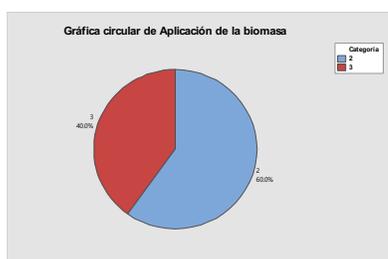


Fig. 17. Aplicación de la biomasa de los procesos  
Fuente: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES

Al ser cada cadena de suministro distinta y específica, los elementos a considerar para conocer su grado de sustentabilidad se espera que también lo sean, sin embargo, tanto en el análisis documental a nivel internacional y nacional, como en el análisis local, se encontraron coincidencias, al menos por rubros de impacto, tales como el control de consumo de agua, de tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos y del uso de energías alternas.

Se obtuvo que los representantes de las cadenas estudiadas, encuentran entre decisivamente importante e importante, implementar prácticas enfocadas a impactar positivamente la sustentabilidad ambiental, en los rubros de: control de emisiones de gases de efecto invernadero, control de eficiencia energética, cuidado de suministro de agua, tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos, uso de energías alternas en sus procesos, cumplimiento de normatividad ambiental, inclusión del personal, el fomento a la equidad y no discriminación, las prácticas de optimización de recursos, la aplicación de innovación en dichas prácticas de optimización y

la capacitación oportuna del personal en los principios e indicadores inmersos en la sustentabilidad.

Por otra parte, las cadenas atraviesan distintas fases para llegar a un grado de madurez, en relación a la sustentabilidad y sus prácticas, de forma inicial se da la fase reactiva, cuya intención es solo cumplir con las regulaciones gubernamentales, para después pasar a certificaciones comerciales, que den prestigio y reconocimiento a la marca; aquí se despliega, internamente, en los distintos niveles, el concepto, su importancia y su valor, para trabajar conjuntamente en los ejes ecológicos, económicos y sociales. Seguido, viene la tercera fase, donde se da un involucramiento mayor, se acepta la responsabilidad por los daños que los productos o servicios puedan ocasionar al ambiente, se genera un trabajo colaborativo entre distintos aliados como clientes y proveedores. Para llegar a la cuarta fase donde se incluye la sustentabilidad dentro de los procesos de mejora continua, como un sistema integral y no de forma aislada, en este sentido, se fomenta la proactividad, para impactar en la generación de propuestas de mejora, generalmente, innovadoras y cien por ciento preventivas.

Dado a lo anterior, se concluye que las cadenas analizadas se encuentran entre la fase 2 y 3, con una gran oportunidad para llegar a la meta de cero emisiones. Un camino difícil, pero no imposible, sobre todo, si se incentiva la investigación, desarrollo e innovación y se capacita al capital humano, quienes son, realmente los dueños de los procesos.

En cuanto a las áreas de oportunidad, resalta que solo el 60% de las empresas estudiadas cuenta con indicadores para conocer su grado de cumplimiento en sustentabilidad. También se detectó la falta de uso de transporte ferroviario, ya que el 100% de los encuestados afirmó no utilizarlo, la falta de uso de energía eólica, la falta de aprovechamiento de su biomasa residual y de contar con una red eficiente, dentro de su cadena, que incentive la logística inversa.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Olmos, M. A., & González-Santos, W. (2016). El valor de la sustentabilidad. *Ciencia Y Agricultura*, 10(1), 91. <https://doi.org/10.19053/01228420.2831>
- [2] Hernández, A., González, H y Tamez, G. (2016). Desarrollo sustentable: de la teoría a la práctica. Universidad Autónoma de Nuevo León, ISBN: 978-607-97056-6-4, primera edición, Monterrey, México.
- [3] Martínez Arroyo, J. A., Valenzo Jiménez, M. A., y Zamudio De La Cruz, A. G. (2019). La gestión de la cadena de valor en un entorno competitivo y cambiante. *SIGNOS – Investigación en sistemas de gestión*, 11(1), 55-70. DOI: <https://doi.org/10.15332/s2145-1389.2019.0001.03>.
- [4] Cabrera Jara, N. E., Orellana Vintimilla, D.A, Hermida Palacios, M.A., Osorio Guerrero, P.E. Evaluando la sustentabilidad de la densificación urbana. Indicadores para el caso de Cuenca (Ecuador) *Revista Bitácora Urbano Territorial*, vol. 25, núm. 2, julio-diciembre, 2015, pp. 21-34 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- [5] Cagliano, R., Worley C.G., Federico, F.A (2016), Organizing Supply Chain Processes for Sustainable Innovation in the Agri-Food

Industry. ISBN: 978-1-78635-488-4, ISBN: 978-1-78635-487-7, ISSN: 2045-0605, E.U.A.

[6] Costa, M. C., Teixeira, F. de D., Pimenta, M. L., & Cezarino, L. O. (2017). Tendências de Pesquisa em Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde. *Gestão & Regionalidade*, 33(98). <https://doi.org/10.13037/gr.vol33n98.4007>

[7] Soares, I. T. D., Streck, L., & Trevisan, M. (2016). Logística Reversa: Uma Análise de Artigos Publicados na Base Spell. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 5(2), 76–97. <https://doi.org/10.5585/geas.v5i2.385>

[8] Jabbour, A. B. L. D. S., Arantes, A. F., & Jabbour, C. J. C. (2013). Gestão ambiental em cadeias de suprimentos: Perspectivas atuais e futuras de pesquisa. *Interciencia*, 38(2), 104–111.

[9] Guo, R., Lee, H., & Swinney, R. (2015). The Impact of Supply Chain Structure on Responsible Sourcing. In *Management Science* (Vol. 30).

[10] Pacheco, D. A. D. J., Rocha, E., Antunes, J. A. V., Jung, C. F., Fonseca Da Luz, D., & Pergher, I. (2016). Práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos. *Interciencia*, 41(7), 506–511.

[11] Jabbour, A. B. de S. (2014). Evidências da relação entre evolução da gestão ambiental e a adoção de práticas de green supply chain management no setor eletroeletrônico brasileiro. *Revista de Administração*, 49(3), 606–616. <https://doi.org/10.5700/rausp1171>.

[12] Moori, R. G., Shibao, F. Y., & Kimura, H. (2016). Efeito moderador da inovação verde sobre gestão da cadeia de suprimentos e desempenho. *Gestão & Regionalidade*, 32(96). <https://doi.org/10.13037/gr.vol32n96.3511>.

[13] Lopes, L. J., Sacomano Neto, M., Argoud, A. R. T. T., Camargo Junior, J. B., & Pires, S. R. I. (2015). Uma Análise das Práticas de Green Supply Chain Management e Certificação ISO 14001 no Setor Automotilístico Brasileiro. *Revista de Administração Da Unimep*, 13(1), 165–188. <https://doi.org/10.15600/1679-5350/rau.v13n1p165-188>.

[14] Sarache Castro, W. A., Costa Salas, Y. J., & Martínez Giraldo, J. P. (2015). Environmental performance evaluation under a green supply chain approach. *Dyna*, 82(189), 207–215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48550>

[15] Leguizamón-Díaz, T. P., & Moreno-Mantilla, C. E. (2014). Effect of competitive priorities on the greening of the supply chain with TQM as a mediator. *Dyna*, 81(187), 240–248. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n187.46106>

[16] Bustos Flores, C. y Chacón Parra, G. (2015). La estrategia de producción del sector industrial. *Sapienza organizacional*, vol. 2, núm. 4, julio-diciembre, 2015, pp. 49-74 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/5530/553056600007.pdf>

[17] Pozo, H., Akabane, G. K., Galhardi, A. C., & Peterossi, H. G. (2015). Sustainability As A Success Factor In Global Operations: A Survey Of Car Manufacturing Supply Chains. *Independent Journal of Management & Production*, 6(2). <https://doi.org/10.14807/ijmp.v6i2.290>

[18] Bruno Miranda Dos Santos, Cyro Rei Prato Neto, Alexandre Rodrigues Ferreira, W., Pietrobelli Bueno, Marcela Soares, Attila Elöd Blesz Junior, M. B. e, & Godoy, L. P. (2017). No Title. *Interciencia*, 42, 7.

[19] Peña, C., Torres, P., Vidal, C., & Marnolejo, L. (2013). La logística de reversa y su relación con la gestión integral y sostenible de residuos sólidos en sectores productivos. *Entramado*, 9(1), 226–238.

[20] ONU (2019), Organización de las Naciones Unidas, Acuerdo de París, cambio climático, recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20brinda.un%20ciclo%20de%20cinco%20a%C3%B1os>

[21] Callejas, S. (Abril de 2019). Sustentabilidad a través del diseño de cadena de suministro. Obtenido de <http://www.apics.org.mx/sustentabilidad-a-traves-del-diseno-de-cadena-de-suministro.pdf>

[22] Cruz Reyes, M.A. y Simón Domínguez, N. (2014). Valor sustentable de la industria agroalimentaria en México Asociación latinoamericana de facultades y escuelas de contaduría y administración XIV Asamblea General de ALAFEC, Panamá, 2014. Recuperado de: <http://www.alafec.unam.mx/docs/asambleas/xiv/ponencias/5.05.pdf>

[23] Aguilar Jiménez, G., Montoya Gómez, G., Hernández Crus, R.E., Vásquez, M.A., (2018). Apropiación y reapropiación en Agua de Pajarito: inclusión del ecoturismo a las prácticas campesinas. El peroplo sustentable, núm. 35. Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1934/193462181008/movil/index.html>.

[24] Pérez, J. C., & Rappo, S. M. (2016). Opciones de política ambiental para garantizar la sustentabilidad de la agroindustria azucarera en Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13, 193–216.

[25] López Santos, Y. (2019). La administración de la cadena de suministro sustentable y las pequeñas y medianas empresas de economías emergentes: caso México / The Sustainable Supply Chain Management and the Small and medium-sized enterprises of emerging economies: The case of Mexico. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 8(15), 54–81. <https://doi.org/10.23913/ricea.v8i15.124>

[26] Codesin (2011). Plan Maestro Sinaloa Sustentable, avance de PED 2011-2016. Recuperado de: <https://codesin.mx/news/plan-maestro-sustentabilidad-ambiental/>

[27] AEI (2015). Agendas estatales de innovación, Gobierno del estado de Sinaloa, recuperado de <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/estatales/agendas-estatales/356-sinaloa-agenda-de-innovacion/file> Agenda de especialización, sector agroindustrial (2014). Recuperado de: <http://www.agendasinnovacion.mx/wp-content/uploads/2015/03/4-2-Agenda-del-%C3%A1rea-de-Agroindustria.pdf>

[28] Velarde Rodríguez, MG (2018) Estudio sobre la percepción de los sectores sobre la importancia de la sustentabilidad de las cadenas de suministro del sur de Sinaloa, Universidad Politécnica de Sinaloa, México.

[29] Plan Estatal de Desarrollo (2017-2021) Recuperado de: <https://sinaloa.gob.mx/uploads/2017/06/plan-estatal-de-desarrollo-sinaloa-2017-2021.pdf>.

[30] Gas Natural y medio ambiente. Secretaría de Estado de Energía, Ministerio para la transición ecológica y reto demográfico. Recuperado de: <https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>

[31] Pacto Mundial de la ONU y Negocio para Responsabilidad Social (2010). Sustentabilidad de la cadena de suministro: Una guía práctica para la mejora continua. Recuperado de: <https://www.pactomundial.org/2021/02/guia-para-la-gestion-responsable-de-la-cadena-de-suministro-en-busca-del-negocio-sostenible-dentro-y-fuera-de-los-muros-de-la-empresa/>

# **Disminución de la merma en materia prima en empresa de cítricos mediante el procesamiento de lotes con tamaños de trabajo no idénticos**

José Manuel Chavira Cervantes, Pedro Henoc Ireta Sánchez,  
Iván Garza Greaves, Ricardo Martínez López.

# Disminución de la merma en materia prima en empresa de cítricos mediante el procesamiento de lotes con tamaños de trabajo no idénticos

José Manuel Chavira Cervantes  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.  
Tamaulipas, México.  
josemchavira@hotmail.com

Iván Garza Greaves  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria  
Tamaulipas, México  
garza8001@gmail.com

Pedro Henoc Ireta Sánchez  
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria,  
Tamaulipas, México  
pireta2976@gmail.com

Ricardo Martínez López  
Instituto Tecnológico de Saltillo.  
Saltillo, México.  
rmartinez@itsaltillo.edu.mx

**Resumen:** La programación por lotes es un tema ampliamente estudiado en la logística y con múltiples propósitos, en este artículo se utiliza la programación para minimizar el tiempo mas grande (makespan) de descarga en el área de recibo o rampa, se expondrán alternativas de solución que tienen como finalidad cambiar la forma en que la materia prima es recibida en la empresa. La intención es la generación de lotes en los que se minimize el tiempo de espera en el área de recibo y que ocasiona merma en la materia prima, por no ingresar al proceso en tiempo y forma. Para resolver este problema se compararon diferentes reglas de despacho contra la regla de Primera Entrada Primera Salida (FIFO) que la empresa utiliza como forma de secuenciar la materia prima. Como resultado final se concluye que la regla del criterio del primer arreglo y la del criterio del arreglo de mayor a menor, presentaron el tiempo de procesamiento más corto, resultando ser las más efectivas.

**Palabras clave:** reglas de despacho, tiempo procesamiento por lotes, optimización.

## I. INTRODUCCIÓN

Abordamos el problema de programar máquinas de procesamiento por lotes para maximizar el rendimiento de descargar de la mayor cantidad de cítricos en el menor tiempo. Una máquina de procesamiento por lotes puede procesar un número de trabajos simultáneamente como un lote. Todos los trabajos procesados en un lote comienzan y completan el procesamiento simultáneamente. El tiempo de procesamiento de un lote se determina por el procesamiento más largo entre los de todos en el lote. Cada trabajo tiene un determinado

requerimiento de tamaño o capacidad, y la capacidad de la máquina es limitada. Por lo tanto, el tamaño total de los trabajos en un lote no puede exceder la capacidad de la máquina. Aunque las máquinas de procesamiento por lotes se encuentran en muchos entornos diferentes, como las operaciones de tratamiento térmico en las industrias metalúrgicas [1], esta investigación está motivada por un caso práctico en donde se requiere consideramos minimizar el tiempo total de descarga en el área de recibo de la planta procesadora de cítricos, se considera en el área de recibo Una máquina de procesamiento por lotes (BPM) y ésta puede procesar varios trabajos simultáneamente (descarga de contenedores de diferentes tamaños) , he aquí la oportunidad de mejora de la empresa. Actualmente se ingresa el primer vehículo o contenedor mediante la regla de FIFO y se ha observado que no optimiza la capacidad de procesamiento en el área de recibo o rampa, dejando en muchas ocasiones espacio en la capacidad en donde pudiera ingresar otro contenedor que requiere un tiempo menor al contenedor más grande [1]. Dado que la operación de descarga de los contenedores no se aprovechar al máximo, la capacidad de descarga de la rampa constituye un cuello de botella en la operación de descarga, por lo tanto la programación eficiente de esta operación maximizará el rendimiento, y reducir el tiempo de flujo y los inventarios de trabajo en proceso que son de gran preocupación para la administración. Esto motiva las medidas de rendimiento de makespan y el

tiempo total de finalización que abordamos en este estudio.

## ESTADO DEL ARTE

La programación de la máquina de procesamiento por lotes es un problema típico de optimización combinatoria. Diferente de los problemas de programación tradicionales, la máquina de procesamiento por lotes puede procesar varios trabajos simultáneamente como un lote, [2] En este documento se considera el problema de programar trabajos con requisitos de capacidad no idénticos, en una máquina de procesamiento de un solo lote de una capacidad determinada, para minimizar makespan (max) y el tiempo total de procesamiento ( $\sum C_i$ ) con tamaños de trabajo no idénticos. El tiempo de procesamiento de un lote es igual al tiempo de procesamiento más grande de cualquier trabajo del lote.

Dado el tamaño diferente de los trabajos, [1] presentaron resultados de complejidad para minimizar criterios de marcación ( $C_{max}$ ) y tiempo total de finalización ( $\sum C_i$ ) y proporcionaron algunas heurísticas y un algoritmo de bifurcación y enlace. [3] propusieron heurísticas para minimizar  $C_{max}$ . En otra investigación, [4] consideraron el criterio  $\sum C_i$  para el mismo problema. También se realizó un procedimiento de bifurcación para minimizar la  $C_{máx}$ . desarrollado por [5]. [6] desarrollaron un Enfoque de recocido simulado (SA) para minimizar  $C_{max}$  para programar un solo BPM con diferentes tamaños de trabajo. [7] examinaron una clase de problemas definidos por dos o tres talleres de flujo de máquinas con una máquina de procesamiento por lotes. Suponiendo tiempos de procesamiento idénticos en la máquina de procesamiento por lotes, proporcionan algoritmos y clasificaciones de complejidad para los problemas de minimizar  $\sum c_i$  y  $c_{max}$ . [8] expusieron que las máquinas de procesamiento por lotes, donde se pueden agrupar diferentes productos, pero el tiempo de procesamiento del lote depende de los trabajos del lote, proporcionaron algoritmos eficientes para minimizar el número de trabajos tardíos y la máxima tardanza bajo una serie de suposiciones y una heurística para el problema de minimizar  $c_{max}$  en máquinas de procesamiento por lotes idénticas

paralelas y un error minúsculo en el peor de los casos vinculado a su rendimiento. [9] examinan el problema de minimizar  $\sum c_i$  en una máquina de procesamiento por lotes de este tipo. Proporcionan algoritmos óptimos y heurísticos para el caso de una sola máquina, y heurística para el problema de la máquina paralela. [10] muestra que si sólo hay un número fijo de familias de trabajo (es decir, diferentes valores de tiempo de procesamiento), el problema  $\sum c_i$  se puede resolver en tiempo polinomio. Todas las investigaciones citadas anteriormente asumen que cada trabajo es de tamaño unitario, es decir, requiere sólo una unidad de capacidad de la máquina. La única investigación que conocemos para discutir el problema en el que los puestos de trabajo tienen tamaños no idénticos es la de [11] y [12] En su documento considera el problema de minimizar makespan en una sola máquina de procesamiento por lotes teniendo en cuenta mantenimiento preventivo. Un modelo matemático para integrar mantenimiento preventivo flexible en el procesamiento por lotes se propone la programación de máquinas. Un método de dos etapas es propuesto para resolver el problema. Una regla de procesamiento por lotes que consideran el mantenimiento para agrupar los trabajos en lotes en primer lugar. Los resultados computacionales indican que el método de dos etapas basado en la regla de procesamiento por lotes propuesta y la heurística mejorada es efectiva.

## II. MODELO MATEMÁTICO

Se estudia el problema de un caso real que consiste en obtener la mejor programación y ejecución por lotes de las diferentes unidades de transporte que descargan el cítrico en área de rampa de empresa citrícola, la capacidad máxima de descarga en el área de rampa es de 67.5 ton. Por hora, existen tres tipos de transportes o contenedores con diferentes capacidades de carga: camión tipo Torton que tiene un contenedor para 22 toneladas y tarda en descargarse 24,7 minutos, el tráiler que tiene un contenedor de 44 toneladas y se descarga en 49,5 minutos y por último la camioneta que tiene un contenedor de 4 toneladas y se descarga en 4,5 minutos. el objetivo es minimizar el mayor tiempo de finalización conocido como *makespan* ( $C_{max}$ ). El proceso no se puede interrumpir una vez que

comienza la descarga y no se pueden agregar ni quitar los camiones asignado a un lote hasta que se hayan terminado todos los camiones y tráileres que se requirieron para completar el lote. El tiempo de procesamiento por lotes viene determinado por la descarga del camión más grande o con el tiempo de procesamiento más largo de descarga. Todos los trabajos están disponibles en el momento de cero. Los símbolos y anotaciones utilizados en este documento se enumeran de la siguiente manera:

1).-Hay n trabajos  $J = \{1, 2, \dots, n\}$  que se van a procesar y cada trabajo j tiene tiempo de procesamiento no identificable  $P_j$  y tamaño  $S_j$ .

2).-Se supone que la capacidad de la máquina es C y cada trabajo j tiene  $s_j \leq C$ . La lista de trabajos J se programará en lotes  $b \in B$  antes se procesan donde B denota una lista de lotes, es decir, una solución factible, y  $|B|$  significa el número de lotes en B. El tiempo de procesamiento de cada lote b es igual a  $P^b = \max. \{p_j \mid j \in b\}$ .

3).-El objetivo es minimizar el tiempo de descarga para reducir la cantidad de merma en la materia prima por descomposición, solución B.

De acuerdo con lo anterior el modelo es el siguiente:

$$\min Cmax = \sum_{b \in B} P^b \quad (1)$$

$$s. t. \sum_{b \in B} X_{jb} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n s_j \cdot x_{jb} \leq C \quad \forall b \in B \quad (3)$$

$$P^b \geq P_j x_{jb} \quad \forall j \in J, b \in B \quad (4)$$

$$x_{jb} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, b \in B \quad (5)$$

$$\left\lceil \frac{\sum_{j=1}^n s_j}{C} \right\rceil \leq |B| \leq n \quad |B| \in Z^+ \quad (6)$$

La ecuación 1 es el objetivo que es minimizar el makespan. El conjunto de restricciones: (2) garantiza la asignación de cada trabajo i a un solo lote j. El conjunto de restricciones (3) indica que la suma de los tamaños de trabajos de un lote debe ser menor o igual que la capacidad de la máquina. El conjunto de restricciones (4) proporciona tiempo de

procesamiento del lote j. Los conjuntos de restricciones (5) y (6) denotan la restricción binaria de las variables  $X_{ij}$  y la restricción de no negatividad para las variables  $T_j$ , respectivamente.

### III. RECOLECCIÓN DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN.

Se recolectó información de nuestro caso de estudio en la empresa procesadora de cítricos, los datos recolectados corresponden a la cantidad de camiones o contenedores que se encontraban en el área de recibo antes de pasar al área de rampa o descarga, los contenedores son de tres tipos principalmente: camionetas, Torton y triales. Los cuales tiene distintas capacidades de carga y tiempos (mencionados en el modelo matemático) de descargas. La capacidad del silo que recibe la descarga del cítrico es de 67.5 toneladas por hora.

La Tabla 1 registra los datos recolectados del caso de estudio.

TABLA 1. RECOLECCION DE DATOS.

CAMIONES EN ESTACIONAMIENTO	TIPO DE CONTENEDOR O CAMION	CARGA TONS	TIEMPO DESCARGA (min)
1	CAMIONETA	4	4.5
2	TRAILER	44	49.5
3	CAMIONETA	4	4.5
4	TRAILER	44	49.5
5	CAMIONETA	4	4.5
6	CAMIONETA	4	4.5
7	CAMIONETA	4	4.5
8	TRAILER	44	49.5
9	TRAILER	44	49.5
10	TRAILER	44	49.5
11	TRAILER	44	49.5
12	CAMIONETA	4	4.5
13	TORTON	22	24.7
14	TRAILER	44	49.5
15	CAMIONETA	4	4.5
16	TRAILER	44	49.5
17	TORTON	22	24.7
18	TORTON	22	24.7
19	TRAILER	44	49.5
20	TRAILER	44	49.5

#### IV. EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

Para determinar el rendimiento de estos métodos (exactos y heurísticos), realizamos cuatro corridas con los datos obtenidos. La primera corrida corresponde a formar lotes de trabajo conforme llegan los contenedores al área de silos o recibo, es decir en la disciplina FIFO,

Para fines prácticos en primera instancia realizamos nuestra corrida con los primeros 18 datos de trabajo, los cuales contenía tipo de contenedor, la carga y el tiempo que se requiere para descargarlo en el silo, el cual tiene una capacidad para recibir 67.5 toneladas por hora.

La Tabla 2 muestra las corridas correspondientes para formar lotes mediante la regla de FIFO.

TABLA 2. CORRIDA GENERADA CON DISCIPLINA FIFO

Regla FIFO					
Jobs j	size Sj	T.P Pj	lote	capacidad cada hora: 67.5 tons	tiempo proceso
1	4	4.5	lote 1	52	49.5
2	44	49.5			
3	4	4.5			
4	44	49.5			
5	4	4.5	lote 2	56	49.5
6	4	4.5			
7	4	4.5			
8	44	49.5			
9	44	49.5	lote 3	44	49.5
10	44	49.5	lote 4	44	49.5
11	44	49.5	lote 5	44	49.5
12	4	4.5	lote 6	48	49.5
13	22	24.7			
14	44	49.5	lote 7	66	49.5
15	4	4.5			
16	44	49.5	lote 8	48	49.5
17	22	24.7			
18	22	24.7	lote 9	44	24.7
			9 lotes	446	420.7

Los resultados de esta corrida nos indican que tenemos un tiempo de descarga de 420.7 minutos para descargar un total de 446 toneladas de cítricos.

En la segunda corrida se aplico la regla del criterio del Primer arreglo para formar los lotes el primer paso fue generar una secuencia aleatoria del orden de llegadas, en el Segundo paso se tomó el primer trabajo de la tabla y se restó a la capacidad de la máquina, si el siguiente trabajo es menor que la capacidad de la máquina, se debe restar y lo ingresamos, si no lo es se toma el siguiente trabajo y se continúa con esta dinámica de selección hasta completar o estar lo más cerca posible de la

capacidad de la máquina. La Tabla 3 muestra el resultado de la segunda corrida.

TABLA 3. CORRIDA DOS SE APLICO LA REGLA DEL CRITERIO DEL PRIMER ARREGLO PARA FORMAR LOS LOTES.

Segunda corrida					
Jobs j	size Sj	T.P Pj	lote	capacidad cada hora: 67.5 tons	tiempo proceso
1	4	4.5	1	4	
2	44	49.5	1	44	49.5
3	4	4.5	1	4	
4	44	49.5	2	44	49.5
5	4	4.5	1	4	
6	4	4.5	1	4	
7	4	4.5	1	4	
8	44	49.5	3	44	49.5
9	44	49.5	4	44	49.5
10	44	49.5	5	44	49.5
11	44	49.5	6	44	49.5
12	4	4.5	2	4	
13	22	24.7	3	22	
14	44	49.5	7	44	49.5
15	4	4.5	2	4	
16	44	49.5	8	44	49.5
17	22	24.7	4	22	
18	22	24.7	5	22	
			8 lotes	446	396

Los resultados de esta corrida nos indica que tenemos un tiempo de descarga de 396 minutos para descargar un total de 446 toneladas de cítricos.

Se realizó una tercera corrida donde los datos se ordenaron de menor a mayor y se aplicó el paso dos de la corrida dos, se tomó el primer trabajo de la tabla y se restó a la capacidad de la máquina, si el siguiente trabajo es menor que la capacidad de la máquina se debe restar y lo ingresamos, si no lo es se toma el siguiente trabajo y se continúa con esta dinámica de selección hasta completar o estar lo mas cerca posible de la capacidad de la máquina para formar los lotes respectivos. La Tabla 4 muestra los datos ordenados de mayor a menor.

TABLA 4. TERCERA CORRIDA LOS DATOS SE ORDENARON DE MENOR A MAYOR.

Ordenar de Menor a mayor					
jobs j	size Sj	T.P Pj	lote	capacidad cada hora: 67.5 tons	tiempo proceso
1	4	4.5	1	4	
3	4	4.5	1	4	
5	4	4.5	1	4	
6	4	4.5	1	4	
7	4	4.5	1	4	
12	4	4.5	1	4	
15	4	4.5	1	4	
13	22	24.7	1	22	24.7
17	22	24.7	2	22	
18	22	24.7	2	22	24.7
2	44	49.5	3	44	49.5
4	44	49.5	4	44	49.5
8	44	49.5	5	44	49.5
9	44	49.5	6	44	49.5
10	44	49.5	7	44	49.5
11	44	49.5	8	44	49.5
14	44	49.5	9	44	49.5
16	44	49.5	10	44	49.5
			10 lotes	446	<b>445.4</b>

Los resultados de esta corrida nos indica que tenemos un tiempo de descarga de 445.4 minutos para descargar un total de 446 toneladas de cítricos

Para la corrida cuatro los datos fueron ordenados de mayor a menor y se tomó el primer trabajo de la tabla y se restó a la capacidad de la máquina si el siguiente trabajo es menor que la capacidad de la máquina se debe restar y lo ingresamos, si no lo es, se toma el siguiente trabajo y se continúa con esta dinámica de selección hasta completar o estar lo mas cerca posible de la capacidad de la máquina. La Tabla 5 muestra los datos ordenados de mayor a menor.

TABLA 5. CUARTA CORRIDA LOS DATOS SE ORDENARON DE MAYOR A MENOR.

CRITERIO DEL PRIMER ARREGLO ORDENADOS DE MAYOR A MENOR								
Jobs j	secuencia aleatoria	tipo camión o contenedor	size Sj	T.P Pj	lote	capacidad cada hora: 67.5 tons	tiempo proceso	
2	A	TRAILER	44	49.5	1	44	49.5	
4	A	TRAILER	44	49.5	2	44	49.5	
8	B	TRAILER	44	49.5	3	44	49.5	
9	C	TRAILER	44	49.5	4	44	49.5	
10	A	TRAILER	44	49.5	5	44	49.5	
11	C	TRAILER	44	49.5	6	44	49.5	
14	C	TRAILER	44	49.5	7	44	49.5	
16	B	TRAILER	44	49.5	8	44	49.5	
13	B	TORTON	22	24.7	1	22		
17	A	TORTON	22	24.7	2	22		
18	A	TORTON	22	24.7	3	22		
1	C	CAMIONETA	4	4.5	4	4		
3	A	CAMIONETA	4	4.5		4		
5	A	CAMIONETA	4	4.5		4		
6	B	CAMIONETA	4	4.5	4	4		
7	B	CAMIONETA	4	4.5		4		
12	A	CAMIONETA	4	4.5	5	4		
15	B	CAMIONETA	4	4.5		4		
						8 lotes	446	<b>396</b>

Los resultados de esta corrida nos indican que tenemos un tiempo de descarga de 396 minutos para descargar un total de 446 toneladas de cítricos. La Tabla 6 muestra el resumen comparativo de las corridas.

TABLA 6. RESUMEN COMPARATIVO DE LAS CORRIDAS.

Corrida	Lote	capacidad cada hora: 67.5 tons	tiempo proceso
corrida 1: criterio FIFO	9 lotes	446	420.7
corrida 2: criterio Primer arreglo	8 lotes	446	396
corrida 3: criterio primer arreglo de menor a mayo	10 lotes	446	445.4
corrida 4: criterio primer arreglo de mayor a menor	8 lotes	446	396

## V. CONCLUSIONES

Se observa que los mejores resultados obtenidos son las corridas 2 y 4 en cuanto a los tiempos de proceso de descarga a silos y también en la conformación de lotes con un total de 8 lotes y un tiempo de 396 minutos, en ellos se logró descargar un total de 446 toneladas.

Considerando la condición actual, la cual es representada por la corrida 1, tenemos una mejora en el proceso de un 6 % lo que podría equivaler a una reducción de 36 minutos por turno de trabajo, considerar 2 turno por día. Probablemente esta disminución en el proceso de descarga no ayude a mejorar los costos por merma en cítricos, pero definitivamente tiene un impacto significativo al reducir 8.4 horas en el proceso total de descarga semanalmente, esto representa un ahorro en los costos referente a; tiempo laboral de mano de obra, equipo e instalación.

#### AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud a la Empresa Procimart S.A. de C.V. por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio. Al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria por el apoyo recibido para la realización de la maestría y al CONACYT por la beca otorgada.

#### REFERENCIAS

[1] R. UZSOY, «Scheduling a single batch processing machine with nonidentical job sizes,» *International Journal of Production Research*, pp. 32:7, 1615-1635, 01 07 1994.

[2] C. D.-F. Lionel Dupont, «Minimizing the makespan on a batch machine with non-identical job sizes: an exact procedure,» *Computers & Operations Research*, pp. 807-819, 2002.

[3] L. J. G. F. Dupont, «Minimizing makespan on a single batch processing,» *European journal of Automation Systems*, pp. 431-440, 1998.

[4] F. D. L. Jolai Ghazvini, «Minimizing mean flow time on a single batch processing,» *International Journal of Production Economics*, pp. 55, 273-280., 1998.

[5] L. D.-F. C. Dupont, «Minimizing the makespan on a batch machine with non identical job sizes: an exact procedure,»

*Computers & Operations Research*, pp. 807-819, 2002.

[6] S. D. P. C. P. Melouk, «Minimizing makespan for single machine batch processing with non-identical job sizes using simulated annealing,» *International Journal of Production Economics*, pp. 141-147, 2004.

[7] R. H. A. S. D. C. S. T. Javad H. Ahmadi, «Batching and Scheduling Jobs on Batch and Discrete Processor,» *Operations Research*, pp. 40(4):750-763, 1992.

[8] C. U. R. & M.-V. L. Lee, «Efficient Algorithms for Scheduling Semiconductor Burn-In Operations.,» *Operations Research*, pp. 40(4), 764-775, 1992.

[9] C.-Y. L. & R. U. V. CHANDRU, «Minimizing total completion time on batch processing machines,» *International Journal of Production Research*, pp. 31:9, 2097-2121, 1993a.

[10] C.-Y. L. R. U. Vijaya Chandru, «Minimizing total completion time on a batch processing machine with job families,» *Operations Research Letters*, pp. 61-65, 1993.

[11] G. & N. R. Dobson, «The Batch Loading and Scheduling Problem,» *Operations Research*, pp. 49(1), 52-65., 2001.

[12] J. & W. L. Huang, «Makespan minimization on single batch-processing machine considering preventive maintenance.,» *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Application*, pp. 294-298, 2018.



## **Modelo tecnológico para monitorizar el flujo vehicular y bahías de carga/descarga en zonas urbanas**

Arquitectura IoT con flujo de datos de bajo consumo

Bernardo Hernández Sánchez, Miguel Gastón Cedillo Campos, Marisol Barrón Bastida.

# Modelo tecnológico para monitorizar el flujo vehicular y bahías de carga/descarga en zonas urbanas

## Arquitectura IoT con flujo de datos de bajo consumo

M.GTI Bernardo Hernández Sánchez  
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística  
Instituto Mexicano del Transporte, IMT  
Querétaro, México  
Bernardo.Hernandez@imt.mx

Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos  
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística  
Instituto Mexicano del Transporte, IMT  
Querétaro, México  
[gaston.cedillo@imt.mx](mailto:gaston.cedillo@imt.mx)

M.TW Marisol Barrón Bastida  
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística  
Instituto Mexicano del Transporte, IMT  
Querétaro, México

**Resumen:** El presente estudio propone un modelo tecnológico basado en el uso de tecnología de sensores de bajo consumo. La propuesta incluye la implementación de un sistema robusto para monitorizar espacios públicos y contabilizar el flujo vehicular en zonas urbanas. Particularmente se aborda un caso de estudio, el cual toma como base lo desarrollado previamente por (Cedillo-Campos y Fransoo, 2019; Fransoo y Cedillo-Campos, 2022), quienes proponen gestionar, los espacios públicos (bahías) de estacionamiento en las calles de la zona centro de la Ciudad de Querétaro. Para ello, en este proyecto se creó un ambiente funcional de pruebas en las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). La arquitectura propone un enfoque técnico y centralizado para organizar de manera simple sus elementos tecnológicos en una red IoT (Internet of Things). Con base en el diseño propuesto, se pretende lograr su despliegue ágil y, en un futuro, su implementación en diversos escenarios.

**Palabras Clave:** Internet de las Cosas; Sensores; Tecnología; Competitividad; Logística urbana; Transporte.

### I. INTRODUCCION

El presente documento pretende servir como una base preliminar que favorezca el desarrollo de aplicaciones de IoT a la gestión de la infraestructura urbana, como lo son las bahías de carga y descarga, en los países de América Latina.

Desde esta perspectiva, resulta importante comprender brevemente el crecimiento y desarrollo que ha tenido el sector privado en el marco de la tecnología IoT. Sobre esto, el Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina

(CET.LA), realizó un estudio para conocer la capacidad de adopción de soluciones IoT.

Dicho análisis se llevó a cabo a partir de un índice basado en seis indicadores ligados al marco del IoT. Estos indicadores y su puntuación para América Latina con referencia al conjunto de los países que forman parte de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) se presentan en la Figura 1. En esta, se puede constatar que existe una importante área de oportunidad para fortalecer los diferentes aspectos que conforman la evaluación. Sin embargo, el definido como: “*adopción de las tecnologías en las empresas*”, es el de más pobre desempeño.

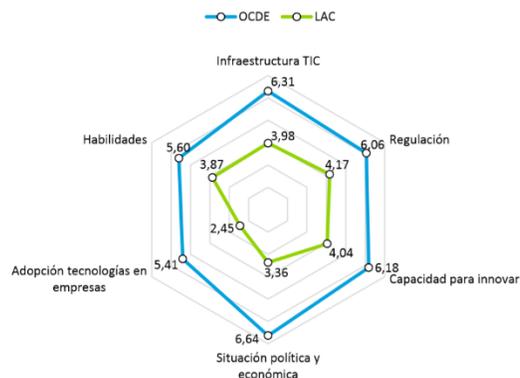


Fig. 1. Resultados del índice para conocer la capacidad de adopción de soluciones IoT, Fuente: Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (cet.la), 2018.

Con mayor detalle, la Figura 2 permite visualizar mayor información a nivel país para América Latina. Se destaca el buen grado de adopción de las tecnologías de IoT en Chile, seguido de Costa Rica, Brasil y México. Este último se encuentra en un entorno muy cercano a la media regional con una puntuación de 3.65.

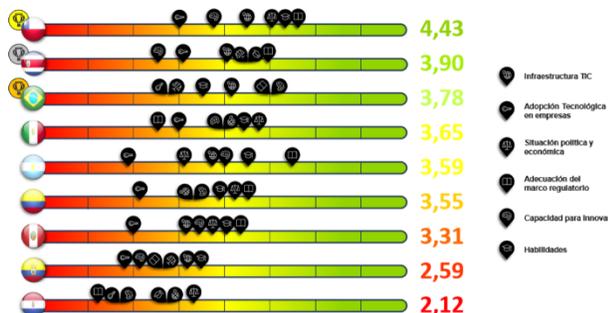


Fig. 2. Grado de adopción de IoT, puntuación en el índice de los países de América Latina, Fuente: Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (cet.la), 2018.

Otro estudio que es importante mencionar es el desarrollado por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), titulado: “Análisis exploratorio de datos de proyectos IoT registrados”. En dicho estudio, los países que destacan por la cantidad de proyectos IoT son Estados Unidos (959); Reino Unido (423); Canadá (108); Alemania (104); España (98); Italia (63); India (61); Francia (58); Países Bajos (57); China (53); Nueva Zelanda (41); Suiza (40); Bélgica (37); Brasil (30), y Emiratos Árabes (27). En el caso de México, el lugar en el ranking mundial es el 26 con un total de 14 proyectos IoT documentados por el Instituto federal de Telecomunicaciones (IFT), 2019.



Fig. 3. Distribución total de proyectos IoT en el Mundo. Fuente: Instituto Federal de Telecomunicaciones con datos de Global Data 2019.

A nivel global, los foros tecnológicos y organismos de estandarización han enfocado la evolución hacia soluciones con dispositivos de muy baja potencia, sobretodo, centrados en el aprovisionamiento de redes de malla, gracias a lo cual consiguieron reducir el costo de estos. Esto pone de relieve cuatro requisitos principales para el despliegue masivo de servicios de IoT:

- **Dispositivos de bajo costo** es necesario que estén integrados, no solo en un modem de un chip, sino también con sensores y actuadores.

- **Sistemas de gestión eficiente de energía**, que permitan la mayor autonomía a los dispositivos IoT.

- **Escalabilidad**, teniendo en cuenta el alto número de dispositivos que entrarán en juego en los despliegues de los escenarios “ultra-densos” y el crecimiento exponencial de los dispositivos.

En este contexto, a continuación se presentan algunos campos de aplicación:

A. *Aplicaciones típicas de la IoT*

a) *En la Industria.*

Control de procesos de producción, monitoreo de ambiente industrial, rastreo en la cadena de fabricación de suministros, monitoreo del ciclo de vida del producto, seguridad en la fabricación, ahorro de energía y control de contaminantes.

b) *Logística Inteligente*

Control de inventarios, manejo de la distribución, trazabilidad, plataforma de servicios públicos logísticos que abraza diferentes zonas y dominios, con *e-commerce* inteligente y logística inteligente.

c) *Transporte Inteligente.*

Percepción y notificación de estado del tráfico, guía de tráfico y control inteligente, posicionamiento y planificación vehicular, servicio y monitoreo remoto vehicular, coordinación vehículo carretera, e integración de plataforma inteligente de transporte.

En el contexto anterior, la originalidad de este artículo estriba en la propuesta de una arquitectura base para el desarrollo de una herramienta de gestión que mejore la fluidez en el movimiento “puerta a puerta” de las mercancías distribuidas en zona urbana.

El resto del documento está estructurado de la siguiente forma: En la **Sección II** se describen los antecedentes que dieron origen al estudio de tecnologías existentes para la gestión de espacios de carga/descarga, en áreas de alta densidad de puntos de entrega. En la **Sección III** se describe la metodología propuesta para el alcance de los objetivos, así como la arquitectura de solución utilizada. En la **Sección IV** se muestra el modelo de procesamiento basado en eventos, la gestión de transferencia de datos entre el “backend” y el servidor, mediante llamadas “callback”. En la **Sección V** se describe la implementación, así como los retos a futuro. Finalmente, en la **sección VI** se exponen conclusiones finales.

II. ANTECEDENTES

Durante el año 2020 el equipo investigador del Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística, trabajó en un proyecto denominado “Arquitectura tecnológica integrada para la gestión efectiva de bahías de carga y descarga de mercancías”, del cual se obtuvo como resultado, un modelo tecnológico de referencia (Hernández-Sánchez, Barrón-Bastida y Cedillo –Campos, 2021). El mismo, integró sensores de baja latencia a un sistema de

comunicación de área amplia de baja potencia aplicado al aforo vehicular y monitoreo de ocupación de espacios públicos de carga y descarga.

Por otra parte, derivado de los resultados obtenidos con la implementación del Primer Laboratorio de Logística Urbana en Tiempo Real (LogistiX-Lab), a través del desarrollo realizado por Cedillo-Campos y Fransoo (2019), organizaciones como:

- a) Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo del Gobierno Alemán (GIZ);
- b) UK aid;
- c) Embajada del Reino de los Países Bajos;
- d) Empresas con operaciones de distribución en México; y
- e) Municipios del país

Solicitaron al IMT información sobre una arquitectura tecnológica integrada que favoreciera la óptima gestión de bahías de carga y descarga de mercancías.

De acuerdo con Cedillo-Campos y Fransoo (2019) y Fransoo y Cedillo-Campos (2022), los resultados del LogistiX-Lab revelaron que la disponibilidad de espacios de carga/descarga en áreas de alta densidad de puntos de entrega, impulsa una mayor eficiencia en las rutas, así como un menor tiempo de estacionamiento y un menor impacto en ruido y contaminación para las ciudades. Pero no sólo eso, también permite disminuir costos logísticos de las cadenas de suministro inter-urbanas, con lo cual, los impactos económicos van mucho más allá de las zonas urbanas. Por lo tanto, se puede decir que mejorar la gestión de las áreas de carga y descarga en zona urbana, tiene un impacto positivo multi-dimensional mejorando la confiabilidad de las cadenas de suministro desde una perspectiva integrada “puerta a puerta”.

Nuestra revisión ha permitido identificar áreas potenciales de desarrollo para sentar las bases para la creación de una nueva aplicación tecnológica no existente en el mercado mexicano.

### III. MODELADO Y ARQUITECTURA.

En una primera fase, el equipo investigador del Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística, adscrito a la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, realizó un conjunto de pruebas técnicas a diversos tipos de sensores. Todo ello con la finalidad de ser usados como parte de una arquitectura de Internet de las Cosas. Posteriormente, se obtuvieron los primeros resultados de una aplicación no intrusiva para aforar el flujo vehicular en una zona de interés, se monitorizó la ocupación y uso de los espacios públicos destinados a carga y descarga de mercancías en zona urbana.

A continuación, se describe la metodología utilizada y los resultados obtenidos:

#### A. Diseño de la arquitectura funcional

La arquitectura basada en la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) permite a un conjunto de dispositivos conectados recolectar y procesar información de distintos entornos locales. Esto posibilita el análisis inteligente de los datos, la medición del inventario, generación de predicciones de ventas, monitoreo de la mercancía, entre otras funciones.

Un ejemplo de caso de uso sería la implementación de una red IoT que recolecta datos de diversos sensores instalados en aviones que viajan a varias partes del mundo. La infraestructura permitiría saber en tiempo real el rendimiento de los motores, tener registros técnicos y planes de vuelo, así como datos de pronósticos meteorológicos reales proporcionados por terceros.

Una solución IoT, como la que se presenta en este documento, analizaría los datos para la elaboración de modelos a escala que permita detectar con precisión las anomalías operacionales y apoyar en la planeación de acciones relevantes. Ante ello surge la pregunta: ¿Qué componentes integran a la arquitectura IoT?

Una arquitectura de referencia permite la correcta integración de los dispositivos IoT con los diferentes sistemas. Los componentes en este caso, sensores inteligentes, dispositivos para enlace y envío de información, plataformas que resguardan los datos para su posterior interpretación.

- Sensores magnéticos, acelerómetros;
- Antena de comunicación de área amplia;
- Servidor para procesamiento del flujo de datos;
- Base de datos, almacenamiento y analítica de datos;
- Interfaz para administración del sistema;
- Aplicación web para despliegue de resultados y toma de decisiones.

En la Figura 4 se muestra el modelo arquitectónico y funcional. Posteriormente se expone una explicación.

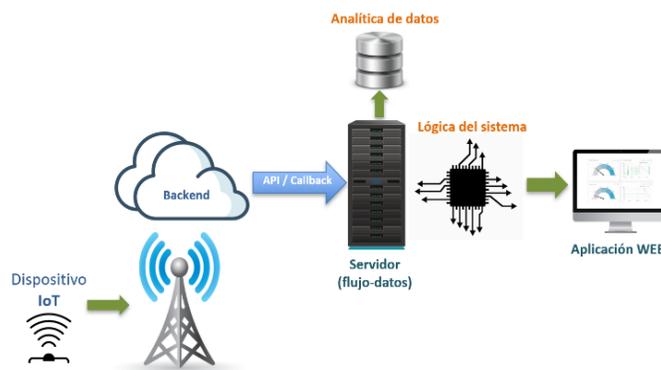


Fig. 4. Arquitectura funcional IoT, Fuente: elaboración propia basada en arquitectura de referencia de tres capas IoT.

#### a) Conteo de flujo vehicular.

El sensor **Sigtraffic** (de Sigmais) se utilizó para realizar un conteo de vehículos en un carril determinado, mediante la detección de la variación de su campo magnético a medida que los vehículos

pasaban encima de él. Este dispositivo acumula recuentos y transmite esta información en un intervalo de tiempo. Este sensor se ilustra en la figura 5 con una fotografía de su electrónica y su circuito de comunicaciones SigFox.

b) *Ocupación de espacio de estacionamiento.*

El sensor **Sigpark** (de Sigmals), se utilizó para detectar el estado “vacante u ocupado” de un espacio de estacionamiento, éste detecta la presencia de masa metálica transmitiendo cualquier cambio de estado al sistema, justo en el momento que éste ocurre.



Fig. 5. Dispositivo Sigtraffic con sensor magnetico y acelerometro. Fuente: Fotografía propia, basada en la tecnología de Sigmals Tech, 2020.

c) *Telecomunicaciones*

En la implementación de las telecomunicaciones, para la transmisión de la telemetría de los dispositivos IoT Sigtraffic y Sigpark, se instaló una antena de alta ganancia, omnidireccional PROCOM CXL900-3LW, estación base Sigfox SBT-T3-902 con rango de frecuencia RCZ 902 MHz, micro canal de 100Khz. En la figura 6 se ilustra la antena y grafica de su frecuencia.



Fig. 6. Antena PROCOM CXL900-3LW, Fuente: Fotografía propia, 2020.

d) *El servidor principal*

La tarea principal del servidor en el sistema es la adquisición, almacenamiento y procesamiento de los datos provenientes de los sensores. En éste se ejecutan módulos de software programados y verifica la disposición de la telemetría. Otras de sus funciones son: administración de dispositivos remotos, almacenamiento de la telemetría de los diversos sensores y el soporte a la aplicación web.

e) *La base de datos*

Se usó de bases de datos para el almacenamiento escalable de la telemetría obtenida de los sensores, esto para su posterior analítica de datos, machine learning, así como el despliegue de resultados mediante la visualización de gráficos en un cuadro de mando.

B. *Arquitectura funcional de 3 capas*

Este proyecto se apejó a la arquitectura de tres capas, ya que conceptualmente es la más simple y se caracteriza por su enfoque técnico y centralizado para organizar los elementos en una red IoT.

A continuación, se da una breve descripción conceptual de las capas de la arquitectura funcional, ver figura 7:

**Capa de percepción:** Es la capa sensorial de IoT donde “las cosas” identifican sus alrededores, recaban información del mundo físico e interactúan con él. Esta capa está compuesta de sensores, terminales, RFID, Tags y actuadores. Estos convierten toda la información en señales eléctricas, las cuales son más fáciles de transmitir para su posterior análisis. La capa de percepción está formada por los objetos físicos y los dispositivos o sensores. Los sensores pueden ser RFID, código de barras 2D o sensor de infrarrojos, dependiendo del método de identificación de los objetos. Posteriormente, la información recopilada se pasa a la capa de red para su transmisión de manera segura al sistema de procesamiento de la información.

**Capa de red:** Es la capa central de IoT. Su función principal es transmitir y procesar la información obtenida por la capa de percepción. Esta capa también es responsable por interconectar otras redes de dispositivos inteligentes, elementos de red y servidores. La capa de red también llamada “capa de transmisión” transfiere de forma segura la información de los dispositivos a un sistema de procesamiento. El medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico y la tecnología puede ser 3G, UMTS Wifi, Bluetooth, infrarrojos, ZigBee, etc., dependiendo de los dispositivos.

**Capa de aplicación:** Capa responsable de entregar servicios y aplicaciones específicas al usuario final. Esta capa puede entenderse como la convergencia entre IoT y las necesidades industriales, definiendo aplicaciones específicas como casas inteligentes, ciudades inteligentes, transporte inteligente, entre muchas otras. Esta capa proporciona una gestión global de la aplicación basada en la información de los objetos procesados en la capa de Middleware. Las aplicaciones implementadas por IoT abarcan áreas como: salud inteligente, agricultura inteligente, hogar inteligente, ciudad inteligente, transporte inteligente, etc.



Fig. 7. Arquitectura funcional de 3 capas, Fuente: Elaboración propia, basada en la propuesta de la Communications Standards Association (CCSA).

#### IV. MODELO DE PROCESAMIENTO BASADO EN EVENTOS. UNA REPRESENTACIÓN VISUAL

Para lograr la interoperabilidad entre las aplicaciones presentes en el modelo de procesamiento se utilizó una arquitectura orientada a servicios web, la cual se define como: *“Aplicaciones modulares autocontenidas que pueden describir, publicar, localizar e invocar a través de una red”* (IBM, 2021).

La Figura 8 muestra una representación visual de la interacción entre el proveedor del servicio web (SigmaIS) y el servicio web del IMT. En este último se observa el flujo de datos final para ser representado en una aplicación web.

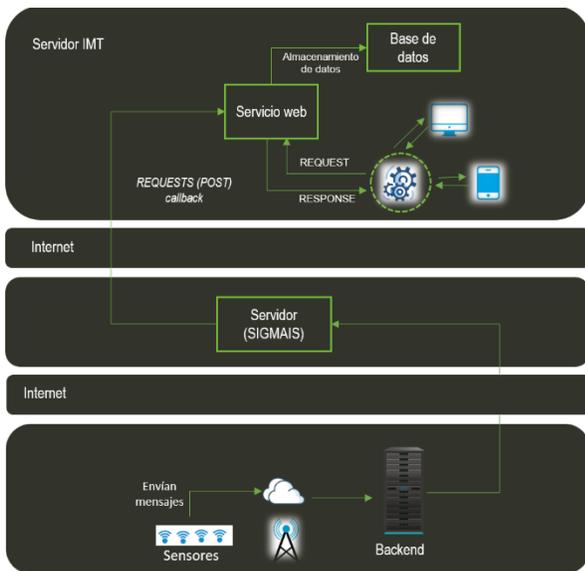


Fig. 8. Arquitectura basada en API REST. Fuente: elaboración propia.

Esta arquitectura hace uso del protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol). El cual proporciona una API (Application Programming Interface) en donde a través del método POST, se envían los datos de los sensores, que viajan desde la aplicación que ofrece el servicio web, hasta el servidor ubicado en el IMT.

El envío de datos al servidor de SIGMAIS se produce cada que los dispositivos o sensores detectan un objeto sobre estos, emitiendo una trama que contiene información relevante referente al sensor. Esa trama se encuentra disponible a través

de una URL lista para ser consumida a través de un *“Callback”* por un servicio web.

La Figura 9 muestra la programación del mapeo de las solicitudes previamente definidas en el servicio web, estas son: *“Ver sensores, agregar y borrar”*.

```

1 package gov.IMT.SITLog.LogistixLab.API_Sensors.Controller;
2
3 import java.util.List;
4
5
6 @RestController
7 @RequestMapping("/Sensors")
8 public class SensorController {
9     @Autowired
10    private SensorService service;
11
12    @GetMapping("/VerSensores")
13    public List<Sensor> obtenerSensores() {
14        return service.obtenerTodos();
15    }
16
17    @PostMapping("/Agregar")
18    public String agregarSensor(@RequestBody Sensor sensor) {
19        boolean bandera = service.insertar(sensor);
20        if (bandera)
21            return "Se inserto";
22        else
23            return "Fallo";
24    }
25
26    @PostMapping("/Borrar")
27    public String borrarSensor(@RequestBody Sensor sensor) {
28        boolean bandera = service.borrar(sensor);
29        if (bandera)
30            return "Se borro";
31        else
32            return "Fallo";
33    }
34 }

```

Fig. 9. Mapeo de las solicitudes previamente definidas en el servicio web. Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, un API lanza una petición en un intervalo de tiempo a dicho servicio bajo la siguiente instrucción (ver Figura 10).

```

fetch('http:DirPublica:Port/Sensores/VerSensores')
  .then(response => response.json())
  .then(data => console.log(data));

```

Fig. 10. Petición en un intervalo de tiempo. Fuente: elaboración propia.

El cual responde con la trama de datos (ver Figura 11), listos para ser visualizados en una aplicación web, tal como un panel de datos con representaciones gráficas.

```

[
  {
    "device": "TRFAAA999",
    "date": "2021-08-10T14:30:00.000Z",
    "frame": 0,
    "temperature": 31.5,
    "count": [
      1156,
      1158,
      1566
    ],
    "battery": 3.6,
    "lat": -20.000000,
    "lng": -40.000000
  }
]

```

Fig. 11. Trama para intercambio de mensajes. Fuente: elaboración propia.

#### A. Pruebas del procesamiento de datos

Previo a la configuración de los servicios web, se realizaron pruebas sobre el flujo de trabajo de los sensores, en la siguiente figura se muestra el movimiento de flujo de datos de los sensores, para este fin se utilizó el software *“LOSANT”* basado en IoT. En la Figura 12 se muestra la configuración y prueba del flujo de trabajo.

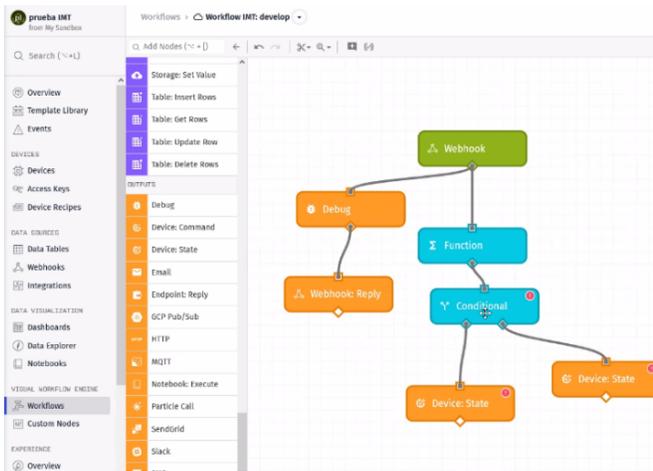


Fig. 12. Flujo de trabajo para prueba de sensores. Fuente: propia, basada en la plataforma LOSANT.

### V. ANALISIS DE RESULTADOS

Después de una exhaustiva evaluación de la tecnología existente y tomando como base la arquitectura funcional de tres capas, realizamos la instalación de tres sensores para monitorizar el flujo vehicular, y un sensor para monitorear la ocupación de espacios públicos (bahías) de estacionamiento. Esta implementación permitió recabar los primeros flujos de datos y explorar los primeros resultados de la prueba.

La Figura 13 muestra la ubicación de los sensores. Lugar destinado para llevar a cabo las pruebas funcionales de los sensores, específicamente en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Dirección: Km. 12+000, Carretera Estatal No. 431 "El Colorado-Galindo", San Fandila, Pedro Escobedo, Querétaro.



Fig. 13. Instituto Mexicano del Transporte. Fuente: google maps.

#### A. Instalación física

Con la finalidad de realizar pruebas preliminares de funcionalidad para dicho proyecto, se instalaron tres sensores distribuidos de la siguiente forma: dos sensores en calzadas,

de los cuales, uno se ubicó en el carril de visitantes y otro en el carril de empleados del IMT. Igualmente, un sensor fue instalado en la salida de las instalaciones.

Una vez instalados los sensores, se comenzó a recabar los primeros registros del flujo de entrada y salida de los vehículos. En la Figura 14 se ilustra la instalación de los sensores:



Fig. 14. Instalación de sensor en calzada del IMT. Fuente: propia.

Para el arranque del proyecto se realizó una campaña de información destinada a los conductores de los vehículos que ingresaban a las instalaciones del IMT. Se dio a conocer los detalles del periodo de prueba del proyecto y como cada usuario interactuaría con el sistema. En la siguiente imagen se muestra el momento donde uno de los investigadores informa a un usuario acerca del proyecto (ver Figura 15).



Fig. 15. Campaña de información del proyecto. Fuente: propia.

En la Figura 16, se muestra al grupo de investigadores involucrados en el proyecto. La actividad consistió en realizar el monitoreo y recolectar el primer flujo de datos proveniente de los sensores instalados en sitio



Fig. 16. Monitoreo de actividad de los sensores en sitio, Fuente: propia.

Haciendo uso de una pantalla de teléfono inteligente conectado a la plataforma del servidor, se muestra una vista del panel de control del sensor *Sigpark*. En la Figura 17 se aprecian las pantallas que prueban su funcionamiento básico. Se observa el panel que indica el estado "libre" u "ocupado", es decir, cuando el espacio de estacionamiento está vacío o

con ocupación de un vehículo. Además, se obtuvo el valor de voltaje de la batería y la temperatura al momento de la lectura.

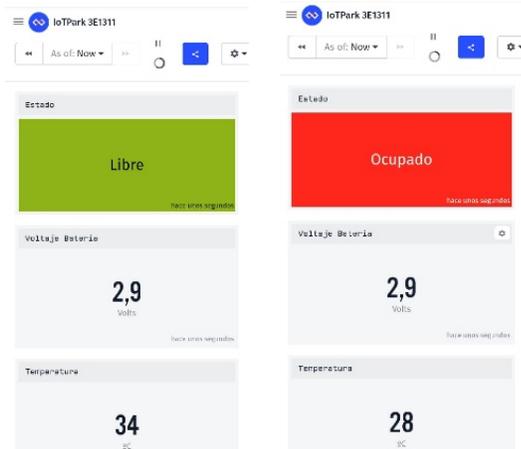


Fig. 17. Actividad del sensor Sigpark. Fuente: Propia

En la Figura 18 se muestra el panel de control del sensor SigTraffic, el cual está conectado a la plataforma del servidor que recolecta la telemetría del número acumulado de vehículos. Esta consulta se pudo realizar por día y hora. También se pudo obtener el voltaje de la batería del sensor y la temperatura in situ.

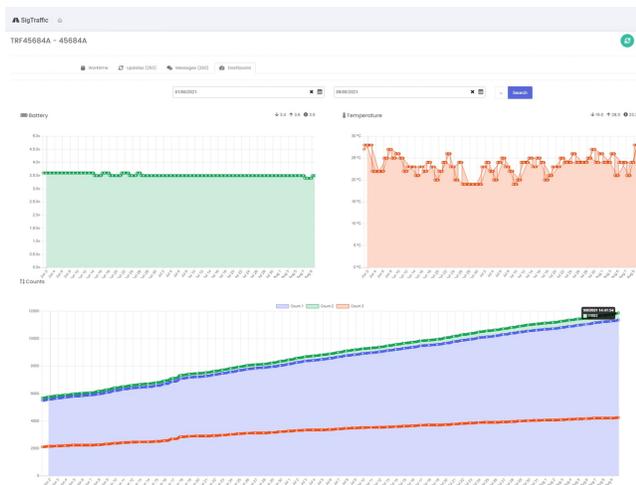


Fig. 18. Actividad del sensor Sigtraffic. Fuente: Propia

## VI. CONCLUSIONES

Si prestamos atención a los avances actuales en el ámbito de las tecnologías, claramente observamos que en los próximos años se implementará masivamente aquellas clasificadas dentro de las IoT. Se vislumbra una gran cantidad de objetos que serán direccionables y podrían conectarse a redes basadas en IP. La industria actual de TI no tiene experiencia en el desarrollo de un sistema en el que cientos de millones de objetos estén conectados a redes IP, lo cual prefigura un gran desafío para la expansión de la tecnología.

Por otro lado, se observa una urgente necesidad en el área de gobernanza en la IoT. Sin un enfoque estandarizado, es

probable que ocurra de manera paralela una multiplicación de arquitecturas, esquemas de identificación, protocolos y frecuencias, cada una destinada a un uso particular y específico, que difícilmente podrían converger entre ellos.

En definitiva, el proyecto identificó los principales aspectos tecnológicos para sentar las bases de un marco de referencia enfocado a soluciones IoT en el transporte y logística del país.

### A. Retos a futuro

Después de los resultados obtenidos con el piloto de prueba en el IMT, uno de los siguientes retos importantes será la instrumentación del kilómetro cuadrado del Laboratorio de Logística Urbana en Tiempo Real (LogistiX-Lab) ubicado en la zona centro de la ciudad de Querétaro.

Este kilómetro cuadrado está dividido en cuatro cuadrantes, cada uno con un número equilibrado de negocios. La visión a futuro es instalar sensores para realizar aforos vehiculares en las entradas y salidas del LogistiX-Lab, así mismo, se pretende instrumentar y monitorear el estado de las bahías de carga y descarga de mercancías de la zona en cuestión, tal como se ilustra en la siguiente figura. Se observa la zona delimitada y las bahías por cuadrantes.

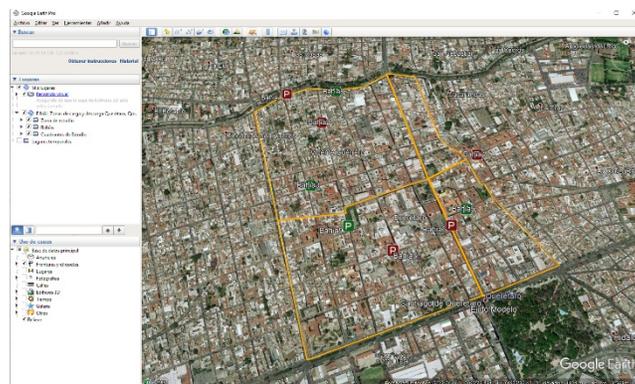


Fig. 19. Primer Laboratorio de Logística Urbana en Tiempo Real (LogistiX-Lab), Fuente: Google Earth .

Otra importante aplicación identificada a partir de este estudio está orientada en la planeación y diseño de políticas para la competitividad y el combate a la pobreza en el transporte rural y desarrollo comunitario. Para ello se puede integrar análisis de accesibilidad rural en los segmentos territoriales y sociales más vulnerables relacionados con altos grados de marginación.

Finalmente, se pretende desarrollar una aplicación web para la gestión efectiva y monitorización de espacios públicos en zonas urbanas, que permita la recolección, procesamiento y análisis de información de varios puntos de la zona de estudio.

## REFERENCIAS

- [1] Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (cet.la). IoT para el Sector Empresarial. Deloitte, 2018.
- [2] Banco Interamericano de Desarrollo. IoT en América Latina y el Caribe (ALC) 2019: Tomando el pulso al Internet de las Cosas en América Latina y el Caribe. [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/IoT\\_en\\_ALC\\_2019\\_Tomando\\_el\\_pulso\\_al\\_Internet\\_de\\_las\\_Cosas\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/IoT_en_ALC_2019_Tomando_el_pulso_al_Internet_de_las_Cosas_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es.pdf), 29-04-2021.
- [3] Instituto federal de Telecomunicaciones (IFT), Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para IoT (Internet of Things), 2019, [En línea]: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/analisisexploratorioiot.pdf>, 14-04-2021.
- [4] Hernández-Sánchez, B., Barrón-Bastida, M. y Cedillo-Campos, M. (2021). Publicación Técnica N° 664: IoTx Arquitectura Tecnológica integrada (Fase 1).
- [5] Cedillo-Campos, M. Fransoo, J. (2019). Distribución urbana inteligente de mercancías. Revista IC, Julio, Colegio de Ingenieros Civiles de México, México [En línea]: [https://issuu.com/cicm\\_oficial/docs/ic599-final](https://issuu.com/cicm_oficial/docs/ic599-final)
- [6] Fransoo, J. Cedillo-Campos, M. (2022). Estimating the benefits of dedicated unloading bays by field experimentation. Transportation Research Part A: Policy and Practice. In Press, Elsevier.
- [7] González García, López Vicario, Vilajosana Guillen. (2017). IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Universidad Oberta de Catalunya.
- [8] Lora Alliance, plataforma de conectividad para aplicaciones de Smart City. [En línea]: <https://lora-alliance.org/>, 23-03-2021.
- [9] Raj Kamal, (2017). Internet of Things Architecture and Design Principles. Mc Graw Hill.
- [10] Savy, M. (2016). European Urban Freight: a comprehensive approach. In: Wolmar, C. (Ed.) Urban Freight for Livable Cities, The Volvo Research and Educational Foundations, VREF, Göteborg.
- [11] SigFox proveedor de servicios para Internet de las cosas (IoT). [En línea]: <https://www.sigfox.com/en>, 26-03-2021.
- [12] Tom Tom, proveedor de servicios tecnológicos. [En línea]: [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/), 27-03-2021
- [13] Shanzhi Chen, Hui Xu, Dake Liu (2014). A Vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with China perspective.
- [14] Alandí Pajares, A. (2016). Tesina de fin de master. Estudio de Internet de las Cosas, en las redes logísticas de la cadena de suministro. Universidad Politecnica de Valencia.
- [15] UN Habitat (2020). Reporte anual de las Naciones Unidas, programa de asentamientos humanos: Por un mejor futuro urbano.
- [16] Sanchez Ramos, I. (2017). Las “Smart Cities”: un nuevo paradigma. Aspectos éticos.
- [17] Hugh Boyes, Bil Hallaq, Joe Cunningham, Tim Watson, (2018). The industrial internet of things (IIOT): An analysis framework. Computer Industry.
- [18] Adita Gaur, Bryan Scotney, Gerard Parr, Sally McClean, (2015). Smart City architecture and its applications based IoT. Science Direct.
- [19] Copyright IBM Corporation, “Servicio web”. 2021. Obtenido de: <https://www.ibm.com/docs/es/was/9.0.5?topic=services-web>.



# **Desarrollo sustentable de las operaciones de transporte de RSU valorizables en áreas urbanas**

## Un análisis geoespacial en Nezahualcóyotl, México

Javier Gómez Maturano, Benito Sánchez Lara,  
Ana Karen Tenorio Hernández

# Desarrollo sustentable de las operaciones de transporte de RSU valorizables en áreas urbanas.

## Un análisis geoespacial en Nezahualcóyotl, México

M.I. Javier Gómez Maturano

Departamento de Ingeniería de Sistemas,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[jgomezma@uaemex.mx](mailto:jgomezma@uaemex.mx)

Dr. Benito Sánchez Lara

Departamento de Ingeniería de Sistemas,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[blara@unam.mx](mailto:blara@unam.mx)

Ana Karen Tenorio Hernández

División de Ingeniería Mecánica e Industrial,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad de México, México  
[karen123uk@comunidad.unam.mx](mailto:karen123uk@comunidad.unam.mx)

**Resumen:** El volumen de residuos sólidos urbanos [RSU] generados diariamente en áreas urbanas impulsa un crecimiento acelerado de la industria del reciclaje. El transporte de materiales valorizables de los RSU, desde los sitios de generación, hasta los puntos de valorización industrial, se ha incrementado en los últimos años. Este tráfico aumentado contribuye a la congestión de la red vial y al incremento de la fricción logística para los flujos de mercancías inbound y outbound en áreas urbanas. En este trabajo se aportan elementos que describen las características operativas del tráfico de materiales valorizables en el municipio urbano de Nezahualcóyotl, así como de los impactos generados al entorno natural y urbano. Para ello, se ocupó un instrumento de observación sistemática de registros fotográficos con lo que se identificó el tipo de vehículos ocupados para el transporte de materiales, así como la capacidad y esquemas de operación. La identificación de los nodos de la red de transporte se hace explorando el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI. Las rutas de transporte fueron trazadas y analizadas con ayuda de sistemas de información geográfica. Los resultados de la investigación muestran un incremento significativo en el uso de la infraestructura vial del municipio. Un total de 993 mil kilómetros de vialidades integran la red a través de los cuales se dan los flujos outbound de RSU valorizables en el Nezahualcóyotl. Alrededor de 170 mil personas se ven afectadas directamente por las externalidades negativas de las actividades de transporte.

**Palabras Clave:** Transporte; Sustentabilidad; Sistemas de información geográfica.

### I. INTRODUCCION

Hoy en día parece tan natural el desperdicio de materia y energía en las actividades de consumo, que se cuestiona muy poco el modelo de producción responsable de dicho desperdicio: el modelo de economía lineal. La generación de residuos parece inherente al modelo de producción dominante, SEMARNAT (2015) así lo reconoce:

*“La producción y el consumo de bienes y servicios generan inevitablemente algún tipo de residuos. Éstos pueden ser sólidos (ya sea de naturaleza orgánica o inorgánica), líquidos (que incluyen a los que se vierten*

*disueltos como parte de las aguas residuales) y los que escapan en forma de gases” (pág. 431).*

Una de las cuestiones más importantes en el mundo contemporáneo es el crecimiento significativo de la producción de residuos, incluidos los residuos que no son de naturaleza biodegradable (Farahbakhsh & Forghani, 2019). La aparición de los problemas económicos, la contaminación nociva y la degradación ambiental son las consecuencias significativas de este problema que afecta principalmente zonas urbanas a nivel mundial (Farahbakhsh & Forghani, 2019).

Las actividades de recolección y transporte de los residuos son las actividades que mayores afectaciones ocasionan, principalmente provocan contaminación del aire mediante la generación de gases de efecto invernadero (Farahbakhsh & Forghani, 2019). A nivel mundial, los sistemas de manejo de RSU necesarios para el tratamiento y la eliminación de desechos generaron la emisión de 1600 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que representa alrededor del 5 % de las emisiones mundiales (Kaza, et al., 2018). La contaminación del aire por la emisión de gases de efecto invernadero, y de otras sustancias que contribuyen al adelgazamiento de la capa de ozono, son las principales externalidades negativas ocasionadas por el transporte de RSU en áreas urbanas (SEMARNAT & INE, 2006; SEMARNAT, 2012).

Los impactos de una inadecuada recolección de residuos y la dispersión de contaminantes al transportarse los RSU, en la salud pública se asocian a infecciones gastrointestinales y respiratorias, especialmente en los niños; además, la obstrucción de las alcantarillas agrava las inundaciones y favorece la propagación de enfermedades infecciosas (PNUMA, 2015). Se presentan afectaciones a la salud pública por estos contaminantes y la transmisión de patógenos y proliferación de fauna nociva (SEMARNAT, 2006; SEMARNAT, 2012); así como impactos de orden estético, de incomodidad por ruidos y malos olores (SEMARNAT, 2006). Con el aumento de las preocupaciones mundiales sobre el cambio climático y el agotamiento de los recursos, es crucial

mejorar el rendimiento general de la gestión de RSU en zonas urbanas para que se puedan reducir las emisiones y los costos ambientales relacionados al manejo y transporte de RSU (Fujii et al., 2014).

En general, la valorización de materiales contenidos en los RSU mediante operaciones sustentables tiene un gran potencial para reducir el consumo de recursos fósiles y el CO<sub>2</sub> resultante de las emisiones de las industrias reintegrando los materiales valorizados a los insumos industriales, tanto como sea posible (Fujii et al., 2014). La valorización de los materiales contenidos en los RSU tiene un papel catalizador para impulsar a las industrias hacia una dirección más sustentable y ambientalmente racional, estas actividades han mostrado tener un buen rendimiento económico, pero también podrían contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Fujii et al., 2014).

El agotamiento de los recursos, el crecimiento de la población y los problemas ambientales derivados del manejo de grandes volúmenes de RSU debe obligar a las empresas a recolectar sus productos al final de su vida útil para su reutilización, reciclaje y restauración a través de cadenas de suministro inversas (Kianpour, Jusoh, Mardani, Streimikiene, Cavallaro, Nor & Zavadskas, 2017). La gestión sostenible de los RSU es un tema clave para implementar los principios del desarrollo sustentable, cuestión urgente en los países con economías emergentes como México.

El manejo actual de RSU en México deja de lado los principios básicos del manejo sustentable: minimización en la generación y maximización del reciclaje (Pires, Martinho, & Chang, 2011). En consecuencia, el desempeño de los sistemas de manejo de RSU se concentra en la tasa de recolección y la reducción de los costos de disposición final, dejando de lado indicadores de desempeño sustentable como la tasa de reciclaje, la distancia recorrida por tonelada de RSU, el consumo de espacio público por tonelada de RSU que se dispone finalmente, etc. (Brundtland, 1987).

Europa recicló en 2010 el 35% de sus residuos y su meta para 2020 es reciclar el 50% de los RSU. En contraste en México "formalmente" sólo se recicla el 4% de los RSU, considerando el reciclaje informal, el valor estimado alcanzaría el 10% (SEMARNAT&INE, 2013). En la CdMx, la infraestructura pública de manejo de RSU permitió recuperar apenas el 1.26% de los RSU susceptibles de valorización (SEDEMA, 2017), mientras que los esquemas privados formalizados recuperan alrededor del 0.16 % (SEDEMA, 2017).

A este conjunto de empresas establecidas formalmente y al sistema público se agregan incontables negocios y personas que operan informalmente en actividades de recolección y reciclaje de RSU. La "pepena" de RSU orientados al reciclaje genera riqueza económica y no siempre opera en la informalidad por su bajo nivel de operación o por factores asociados a la marginalidad (Williams, Kahhat, Allenby, Kavazanjian, Kim, and Xu, 2008). Este sector informal interviene no sólo en el reciclaje, también está involucrado en la recolección y el transporte, siendo muchas veces usado por las autoridades municipales como sustituto parcial del sector formal, teniendo como principales fuentes de ingreso el pago

de propinas o gratificaciones, así como la venta de los subproductos de mayor valor, obteniendo percepciones que en algunos casos sobrepasan la cantidad que costaría un servicio formal por parte del municipio (Floribela y Wehenpohl, 2001).

Más que el desempeño y eficiencia de las redes de adquisición de RSU para CSI, en los mercados emergentes, los principales estudios se asocian a los impactos medioambientales y sociales de las prácticas rudimentarias de reciclaje y reutilización (Williams, et al., 2008). Al menos en lo que respecta al público de mercados emergentes, el tema central relacionado con las CSI internacionales ha sido el impacto ambiental de las actividades informales de reciclaje.

Se ha demostrado que un mayor reciclaje lleva a un menor impacto ambiental, un menor consumo de fuentes de energía y menores costos económicos (Bing et al., 2016) lo que sin duda es deseable. El proceso de recolección y transporte es un tema crítico debido a la logística necesaria para recuperar los materiales valorizables del flujo convencional y los costos asociados, pero pese a los múltiples beneficios económicos y medioambientales de la recuperación de residuos, el tema ha sido relativamente limitado (Larsen, Masi, Jacobsen, & Godsell, 2018). Incluso, algunos autores en la literatura de CSI, que tiene sus raíces en la logística inversa, aún consideran las operaciones de la CSI como un costoso efecto secundario de las operaciones normales, un subproducto no deseado de logística directa o una molestia (Larsen, et al., 2018).

En este trabajo se realizó un análisis geoespacial de las redes de transporte de RSU valorizables que operan en el municipio de Nezahualcóyotl. Dicho análisis permitió identificar las características operativas de los agentes involucrados en el transporte de RSU valorizables. Además, se identifican los impactos negativos que el transporte ocasiona al entorno natural y urbano. En este trabajo se reportan los resultados de un estudio exploratorio basado en la observación sistemática de las operaciones de transporte mediante registros fotográficos. También fueron utilizados sistemas de información geográfica para analizar las bases de datos del INEGI (2019 y 2020) respecto de las actividades económicas y rasgos sociodemográficos de la zona de estudio.

## II. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

De forma disruptiva al flujo del modelo lineal, las CSI incluyen los procesos necesarios para recuperar un producto usado de un cliente y reutilizarlo (Guide, Jayaraman & Linton, 2003). La CSI consiste en la serie de actividades necesarias para recuperar productos al final de su vida, desde los clientes, ya sea para las actividades de recuperación de su valor sobrante para el mercado, o para eliminarlos apropiadamente (Nakashima & Gupta, 2013). En esta investigación se conceptualiza la CSI como la serie de procesos y operaciones necesarias para recuperar, post-consumo, los productos usados, sus componentes o materiales asociados para valorizarlos, lo que implica reutilizarlos, reciclarlos, restaurarlos, re-manufacturarlos o canibaizarlos (Guide, Jayaraman, & Linton, 2003; Kinobe, Gebresenbet y Vinnerås, 2012; Nakashima y Gupta, 2013).

Agrawal, Singh & Murtaza (2015) identifican las siguientes operaciones de la CSI: aprovisionamiento o adquisición de residuos, colección (acumulación), inspección y clasificación, almacenamiento, valorización (reparación, reuso, remanufactura o reciclaje) o disposición final. Sin embargo, como bien lo establecen Ilgin & Gupta (2013), las operaciones de la CSI dependen del tipo de residuo que se maneje. Si bien hay actividades comunes como la colección, inspección y clasificación, otras actividades como las de valorización dependen del producto y de sus condiciones (Ilgin & Gupta, 2013).

Para Gómez Maturano y Sánchez Lara (2020) las CSI de RSU realizan cuatro funciones: **generación** de residuos por el consumidor final, incluye las actividades desarrolladas en las fuentes de generación de RSU, en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional una vez que el consumo del producto original se realiza; **adquisición**, se concentra en la recolección de los residuos producidos y almacenados por las distintas fuentes de generación, a partir de la infraestructura de manejo de basura; **valorización**, mediante tecnología y procesos industrializados, los materiales adquiridos se valorizan para ser reincorporados a las cadenas de suministro; **reintegración**, dirige el flujo de productos recuperados a las diferentes fases de una CS tradicional, se asemeja al proceso de distribución de la CS directa.

El transporte de una de las cinco Operaciones Logísticas de Adquisición [OLA] de RSU a través de las cuales se puede reducir el volumen de residuos conducidos a disposición final. El transporte de los materiales valorizables de los RSU es una operación fundamental dentro de la fase de adquisición en CSI. Esta operación se concentra en el desplazamiento de los materiales valorizables de los RSU en el interior de un área urbana se da desde los Centros de Acopio [CA], que constituyen el origen de su viaje, hasta los Centros de Transferencia [CT] o puntos de valorización, destino del viaje.

Contar con un proceso de transporte logístico de RSU valorizables es todo un reto en áreas urbanas densamente pobladas hoy en día. Más aun teniendo en cuenta la susceptible incidencia que tiene el transporte las áreas urbanas. En este panorama, la logística del transporte debe adaptarse a la evolución urbana.

En esta investigación los agentes transportistas fueron clasificados conforme a la capacidad de carga del vehículo utilizado. La clasificación vehicular ocupada es la siguiente: ligero (hasta 2.5 t), liviano (2.5-3.5 t), semiliviano (3.5-4.5 t), medianos (4.5-5.5 t), semipesado (5.5-7.5 t), pesado (7.5-9 t), extrapesado (9-40t), superpesado (más de 40 t).

La base metodológica de este trabajo es la observación sistemática, bajo la premisa de que para los fines de analizar las actividades de transporte de RSU valorizables en términos de sustentabilidad es mejor observar lo que sucede en su operación: recopilación de datos en situaciones de la vida real, en el campo. En la observación sistemática se requiere del campo a estudiar, lugares y sujetos, como de los aspectos concretos o conductas sobre las que se va a centrar la atención. Los elementos de la investigación son zona de estudio (lugar de la investigación), unidad de análisis (que son los CA y CT)

para estudiar los elementos de su operación y sustentabilidad, es decir las OLA-RSU (objeto de estudio).

El diseño de la investigación permite tener una estrategia de investigación que tomará como método el observacional, tomado como caso de estudio al municipio mexiquense de Nezahualcóyotl. Weick (1968) señala que un método de observación se define como la provocación de la selección, registro y codificación de ese conjunto de comportamientos y valores relativos a organismos *in situ* que es consistente con fines empíricos.

Dado que el método observacional es un procedimiento por el cual se recoge información de un fenómeno contemporáneo con la intención de examinarlo, tal como las OLA-RSU, se convirtió en la mejor opción para realizar un estudio exploratorio sobre la sustentabilidad de las OLA en un municipio particular, caso. El método observacional tiene una función descriptiva, por lo que se adecuó perfectamente al objetivo de identificar las características de sustentabilidad de las OLA-RSU.

En la **Figura 1** se muestra en uso de SIG en la estrategia de investigación. SIG es un campo de la tecnología que integra métodos y herramientas, para analizar y gestionar datos asociándolos a una referencia geográfica. SIG es un sistema informático para almacenar, administrar, analizar y mostrando datos geospaciales ocupado en estudios sobre gestión de recursos naturales, planificación del uso del suelo, desastres naturales, transporte, atención médica, servicios públicos, análisis del área de mercado y planificación urbana (Chang, 2016). En este trabajo se ocupan SIG para hacer un análisis documental de las bases de datos del INEGI y elegir una zona de estudio, además para hacer una caracterización de las actividades de transporte. También fue necesario hacer el diseño de cuestionarios de observación, particularmente para la identificación de las características operativas y de los impactos generados.

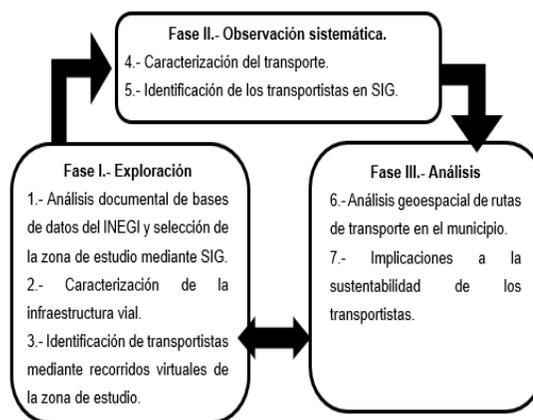


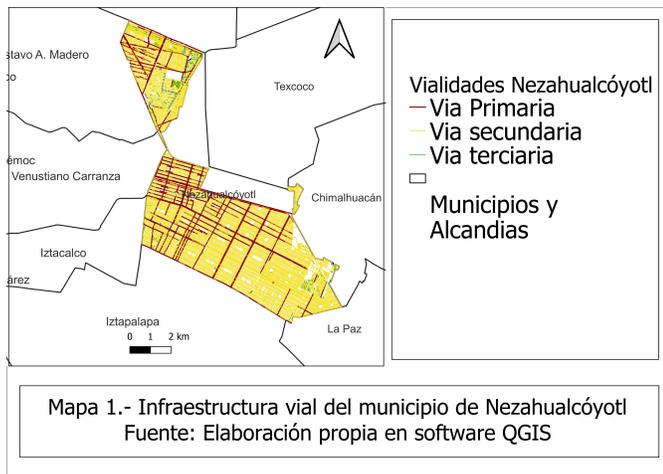
Figura 1.- Estrategia de Investigación

### III. RESULTADOS

Los resultados de este trabajo se presentan conforme a las tres fases de la metodología: Fase I, exploración mediante sistemas de información Geográfica y bases de datos del INEGI; Fase II, caracterización operativa de la operación del transporte mediante observación sistemática; Fase III, análisis geoespacial e implicaciones sustentables de la operación del transporte de RSU.

#### A. Exploración mediante SIG

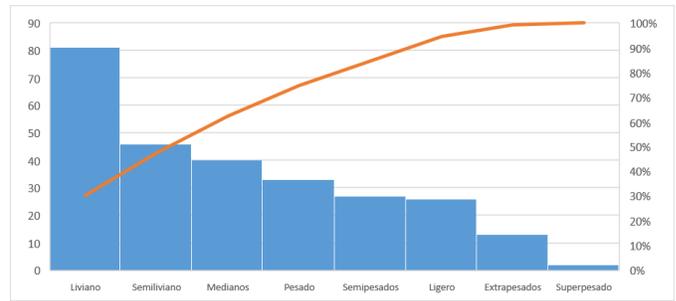
En el **Mapa 1** se muestra la localización del Municipio de Nezahualcóyotl, el cual colinda con algunas alcaldías de la Ciudad de México. El mapa muestra las vialidades del municipio categorizadas entres: vías primarias en color rojo; vías secundarias en color amarillo; y vías terciarias en color verde. Nezahualcóyotl tiene un total de mil 355 kilómetros de vialidades.



#### B. Características operativas del transporte de RSU valorizables

Un total de 268 agentes transportistas de RSU valorizables fueron identificados en Nezahualcóyotl, en las inmediaciones de los CA. Esta cifra representa 2.3 veces más que el número de camiones recolectores que tiene el gobierno municipal para el manejo de RSU en Nezahualcóyotl, demostrándose que la intensidad de las operaciones de transporte es mayor para la red privada de acopiadores que para el sistema de gestión público. Este número de transportistas es significativo, no sólo para los RSU, sino para las actividades de autotransporte de carga. 5832 de los vehículos de motor registrados en circulación en el Estado de México, son camiones y camionetas de carga que operan principalmente en Nezahualcóyotl. El 4.6 % de ellos está siendo ocupado para el transporte de RSU valorizables.

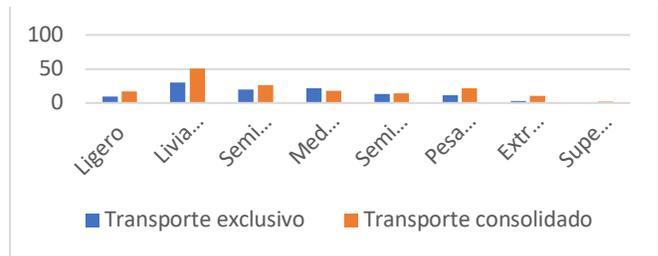
En la **Gráfica 1** se muestra un análisis de Pareto sobre los tipos de vehículos más ocupados para el transporte de materiales valorizables de los RSU. Se identificó que son los vehículos de carga livianos, de 2.5 a 3.5 toneladas, los más utilizados para mover la carga de RSU valorizables en el municipio. Le siguen los semilivianos, medianos y pesados. Estos cuatro tipos de vehículos mueven cerca del 80% de la carga de RSU en el municipio.



**Gráfica 1.** Análisis de Pareto de los vehículos ocupados para el transporte de RSU valorizables en Nezahualcóyotl.

En el municipio se observaron dos tipos de operación de transporte: transporte exclusivo y transporte consolidado. La **Gráfica 2** muestra el número de servicios exclusivos y consolidados observados por tipo de vehículo. El servicio de transporte exclusivo o de carga completa es un tipo de carga que sólo contiene mercancías de un tipo y destinado a una empresa en particular. Para el caso del transporte de RSU valorizables el servicio la carga exclusiva se refiere al transporte de un único tipo de RSU valorizable que tiene por origen el CA y por destino los puntos de valorización o los CT.

Este tipo de transporte representa el 40% de los servicios observados y es más común que se presente en vehículos de baja y mediana capacidad. Para el servicio de carga completa se asume que no hay paradas y sólo pocos puntos de contacto, por incluir un solo destino, lo suele ser menos costoso. Además, tiene como ventajas que: el residuo solo se manipula en su carga y descarga (no hay el reacomodo presente en el servicio consolidado); es más rápido pues no hay trasbordos; hay mayor capacidad de carga y posibilidad de homogenizar la carga; evita contaminación del material por otro tipo de residuos. Estas ventajas, asociadas al tipo de vehículo observado en la **Gráfica 2** permiten establecer que el servicio exclusivo de transporte se vuelve más ágil y eficaz para mover la carga de RSU valorizables en el municipio.

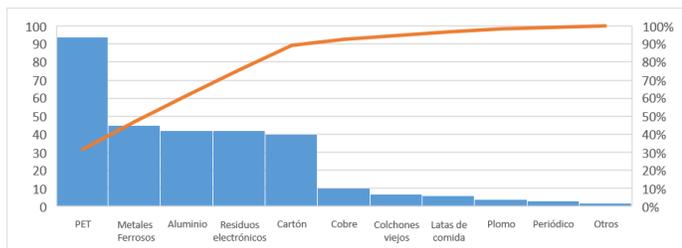


**Gráfica 2.** Modalidad de servicio de transporte por tipo de vehículo en Nezahualcóyotl.

Por otro lado, el transporte de carga consolidada, que es aquél que permite enviar mercancía de varios consignatarios, en un sólo camión o vehículo, permite reducir los costos de transporte. Es uno de los servicios con mayor recurrencia en el municipio, 60% de las observaciones (ver **Gráfica 2**), ya que hace más eficientes las operaciones de transporte. que comparten el espacio y los costos del transporte según su mercancía. Al realizar diferentes entregas de RSU valorizables dentro de una sola ruta, las unidades se detienen varias veces para descargar su contenido y reacomodar la carga, esto hace

que la red se demore. La carga consolidada de RSU valorizables permite aumentar la utilización del vehículo, lo que explica que sea la modalidad de servicio que domina en vehículos de alta capacidad (ver **Gráfica 2**). El servicio consolidado permite envíos recurrentes, acortando el ciclo de almacenamiento, reduce el inventario de mercancías de lento movimiento y gastos de almacenaje, con lo que los acopiadores pueden incrementar su rotación de inventarios. Este último punto también explica la utilización del servicio consolidado en vehículos de baja y mediana capacidad. Finalmente, el servicio consolidado de transporte de RSU valorizables en Nezahualcóyotl también reafirma que las redes de adquisición no son exclusivas de un tipo de RSU, pues como ha presentado, recolectores, acopiadores y transportistas están enfocados a más de un tipo de RSU.

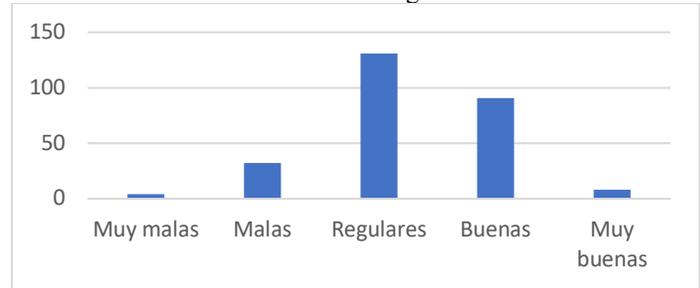
Respecto del giro o residuo al que se enfocan los transportistas identificados, en realidad no se puede hablar de una especialización. Sin embargo, hay materiales de los RSU que se transportan más que otros. En la Gráfica 4.23 se presentan los RSU valorizables que se encontraban en las unidades de transporte observadas. Como puede apreciarse, el PET es el material valorizable más transportado en Nezahualcóyotl, este material tiene casi el doble de observaciones que los metales ferrosos, el segundo RSU valorizable más observado. El aluminio y los residuos eléctricos y electrónicos son el tercer material más transportado. Estos cuatro residuos, junto con el cartón, constituyen los RSU valorizables más importantes, Tipo A, que producen el 90% del tráfico de residuos en Nezahualcóyotl. Otros residuos en conjunto producen el 10% de los viajes, y salvo los colchones viejos, la mayoría de esos otros residuos se transportan de forma consolidada.



**Gráfica 3.** Análisis de Pareto de los RSU valorizables que se transportan en Nezahualcóyotl.

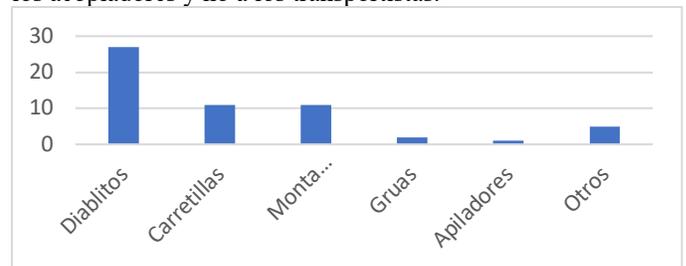
Uno de los factores que intervienen directamente en los accidentes de tránsito son las condiciones físico-mecánicas en las que se encuentra el vehículo. En ello radica la importancia de haber hecho una inspección de las condiciones físicas de los vehículos ocupados para el transporte de RSU valorizables en Nezahualcóyotl. La inspección consistió en la revisión de algunos de los componentes del vehículo que garantice la seguridad del conductor y los ocupantes al trasladarse. Para hacer la inspección se ocupó una técnica llamada de “cronos”, la cual menciona que debe observarse el vehículo desde la puerta del conductor haciendo un recorrido a favor de las manecillas del reloj hasta regresar al punto de inicio. Esto se realizó siempre que los registros fotográficos lo permitieron. La **Gráfica 4** permite visualizar las observaciones respecto de las condiciones físicas de los vehículos realizadas con dicha técnica. Debe señalarse, por ejemplo, que producto de la

inspección que cerca del 30% de los vehículos no portaban placas, calcomanía de verificación vehicular o engomado.



**Gráfica 4.** Condiciones físicas de los vehículos ocupados para el transporte de RSU valorizables en Nezahualcóyotl.

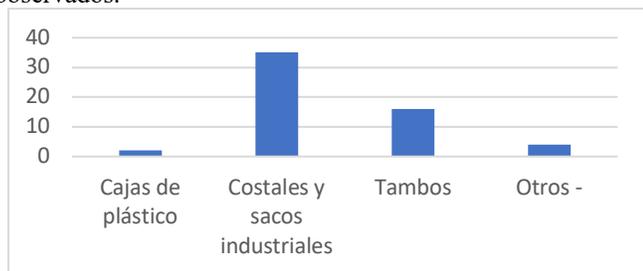
Las actividades de carga y descarga de los vehículos ocupados para el transporte de RSU valorizables forman parte del ciclo operativo del mismo y por tanto son determinantes de sus condiciones. La rapidez y seguridad con que se desarrollan las actividades de carga y descarga afectan la productividad de la operación de transporte. Por otro lado, se sabe que la carga, transporte y descarga de materiales es una de las principales causas de lesiones musculoesqueléticas de los trabajadores manuales. Por ello las observaciones presentadas en la **Gráfica 5** son relevantes en la caracterización de la operación del transporte de RSU valorizables en Nezahualcóyotl. El 56 % de los transportistas observados realizan las actividades de carga y descarga de forma manual, lo que aumenta el riesgo de accidente para los trabajadores de esta actividad, también alarga el ciclo operativo del transporte reduciendo la productividad de este. De los 57 transportistas que realizan las actividades de carga y descarga apoyados con algún tipo de equipamiento, la mayoría ocupa equipos de bajo costo como carretillas y diablitos (ver **Gráfica 5**). Aunque sean equipos de bajo costo, los diablitos y carretillas agilizan el trabajo de carga y descarga, incrementan la productividad de los vehículos al reducir el tiempo del ciclo operativo y reducen los riesgos de lesión para los trabajadores. Para los transportistas que se apoyaban de equipo de mayor costo como montacargas y grúas (ver **Gráfica 5**) para cargar o descargar los RSU valorizables, debe señalarse que dichos equipos pertenecían a los acopiadores y no a los transportistas.



**Gráfica 5.** Equipo de apoyo para las actividades de carga y descarga de vehículos que transportan RSU.

Para acomodar la carga en el interior de los vehículos se observó que los transportistas ocupan distintos materiales para embalar los RSU valorizables y de esa manera aprovechar mejor el espacio disponible en los vehículos. Estos materiales se muestran en la **Gráfica 6**. Esta práctica de embalar los materiales que se transportan incrementa la productividad de

la operación del transporte al aumentar la carga transportada en el vehículo. El embalaje también sirve para proteger el producto o conjunto de productos durante las operaciones de transporte, sin que se deterioren. El embalaje también sirve para evitar que los RSU valorizables se revuelvan o mezclen, si hablamos del servicio consolidado. Pese a las ventajas que tiene el embalaje de los RSU, es una práctica de carácter logístico ocupada sólo por el 44% de los transportistas observados.



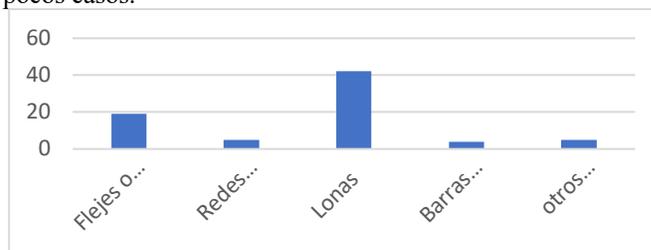
**Gráfica 6.** Materiales ocupados para embalar RSU valorizables que se transportan en Nezahualcóyotl.

Los materiales ocupados para el embalaje de los RSU valorizables que se transportan en Nezahualcóyotl se muestran en la **Gráfica 6**. Los costales y sacos industriales ocupados por los transportistas son los materiales más ocupados por los transportistas para embalar los RSU que transportan. Los sacos industriales dan mucha flexibilidad en cuanto al volumen de carga, son resistentes y ayudan al manejo de la carga y descarga. El uso de tambos también es significativo, estos contenedores rígidos protegen a los RSU de impactos, aplastamientos y contaminación, por supuesto que evita la dispersión del material y su mezcla. Pese a la sencillez de los materiales ocupados en el embalado de RSU para su transportación, estos materiales ayudan a incrementar la productividad de los vehículos, agilizan las actividades de carga y descarga, facilita el manejo de materiales, entre otras ventajas.

En los casos observados, no se encontró evidencia del uso de tecnologías de la información y comunicación ocupadas para la operación de transporte. No se observó el uso de teléfonos inteligentes, computadoras, tabletas o GPS, lo que demuestra el bajo nivel tecnológico de las operaciones de transporte en Nezahualcóyotl.

Otra actividad importante en el transporte es el aseguramiento de la carga. Esta actividad se refiere al aseguramiento de los RSU valorizables contra las fuerzas físicas del movimiento que se producen durante el transporte. Asegurar los RSU durante el traslado incrementa la seguridad del transporte al evitar el desplazamiento de la carga. Las fuerzas que pueden ocasionar un desplazamiento de la carga se producen cuando se acelera hacia atrás, cuando se frena en la dirección de marcha (inercia de la masa), cuando se conduce por curvas hacia los lados (fuerza centrífuga vs. fuerza centrípeta) y verticalmente en carreteras irregulares (gravedad). Estas fuerzas incrementan la probabilidad de accidentes si hay una fijación insuficiente o incorrecta de la carga. En la **Gráfica 7** se muestran los aditamentos ocupados por los transportistas para el aseguramiento de la carga. Las lonas son el más frecuente de los aditamentos para asegurar la

carga, pero ofrece una baja protección por ser un elemento de baja resistencia al desgarre. Los aditamentos más reforzados como los flejes o cintas de trinaje sólo están presentes en 19 casos. Otros elementos de lata especialización como las redes de sujeción de carga y las barras de bloqueo se presentan en pocos casos.



**Gráfica 7.** Aditamentos ocupados por los transportistas para el aseguramiento de la carga.

El aseguramiento de la carga es una de las practicas más observadas en los transportistas de RSU valorizables, pues fue registrada en el 60% de los casos. Sin embargo, dicho aseguramiento debería estar presente en el 100%, pues constituye una norma de seguridad en el transporte de carga. El no cumplimiento de este punto incrementa el riesgo de accidente, tanto del transportista como del entorno en que se desplaza.

### C. Impactos al entorno natural y urbano.

En esta sección se presentan los resultados de las observaciones registradas respecto de los impactos generados por las operaciones de transporte. Estos impactos se presentan en tres grupos: seguridad e higiene del centro de trabajo, impactos al entorno natural y urbano, afectaciones a las vialidades y dispersión de partículas contaminantes.

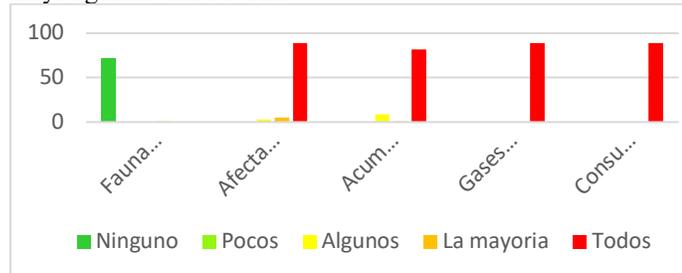
#### a) Seguridad e higiene

Como se comentó en la sección de condiciones del transporte, las actividades de carga y descarga de vehículos constituye una de las actividades de mayor riesgo para los trabajadores del transporte. Este riesgo se incrementa si además no se ocupa el equipo necesario para ello, tal como fajas para cargar el material y calzado protector. Por ejemplo, en los casos observados sólo en tres casos se observó que todos los trabajadores portaban faja para cargar o descargar los vehículos (ver **Gráfica 5**). Lo más común es que ningún de los trabajadores porten equipos de protección como cascos, gafas protectoras, overoles o trajes protectores, mascarillas o tapabocas. Los equipos de protección para manos y pies son los que se observan en más ocasiones, sin que sea significativo su número. El uso de guantes de carnaza o lona se observó en un par de casos, mientras que el uso de calzado protector se identificó en casi la mitad de los casos.

#### b) Impactos al entorno natural y urbano

El transporte de carga es una de las actividades que ocasionan mayor contaminación atmosférica en áreas urbanas. Esta contaminación está asociada a la liberación de gases de efecto invernadero derivados del uso de combustibles fósiles. Estos impactos pueden observarse en la **Gráfica 8**, la generación de gases de efecto invernadero y el uso de combustibles fósiles

está marcado en la mayoría de las observaciones hechas. Estos gases, principalmente los de origen carbónico, han contribuido al calentamiento global y la modificación del clima en el planeta. Las zonas urbanas están expuestas a las consecuencias del cambio climático por el estrés causado por el intenso calor, las precipitaciones extremas e inundaciones, entre otras. De esta manera el entorno natural se ve afectado por el uso de combustibles fósiles en el transporte de RSU valorizables y la generación de GEI. La generación de estos gases se incrementa por las condiciones físicas y mecánicas de los vehículos empleados en el transporte, que como se vio son condiciones regulares. Vehículos más viejos y en malas condiciones son más contaminantes. Algo que caracteriza al transporte de RSU valorizables es que los vehículos empleados no son de modelos recientes, por lo que se espera mayor generación de GEI.

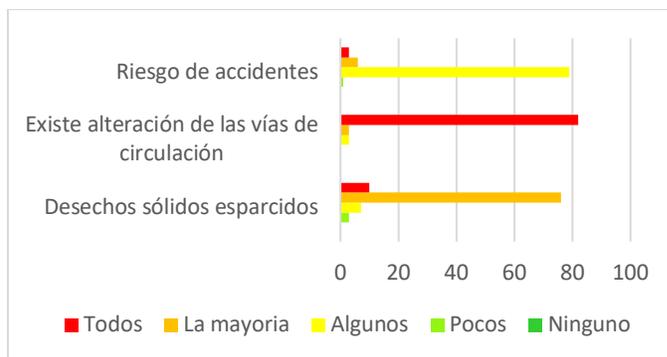


Gráfica 8. Impactos al entorno natural y urbano ocasionados por las operaciones de transporte en Nezahualcóyotl.

Otros de los impactos ocasionados en el entorno natural y urbano, es la acumulación de desechos ocasionada de las actividades de carga y descarga que se realizan principalmente en la vía pública. Esta acumulación de desechos afecta la imagen del espacio urbano, al igual que se discutió en la operación de los CA.

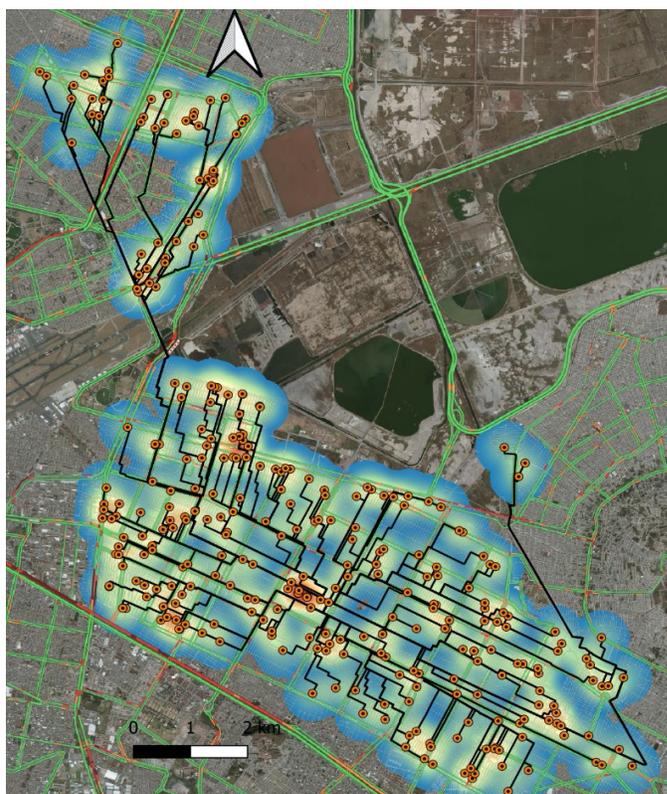
c) Afectaciones a las vialidades y dispersión de partículas contaminantes

La Gráfica 9 presentan las observaciones hechas respecto de las afectaciones a las vialidades y la dispersión de partículas contaminantes. El riesgo de accidente es observado en algunos casos de transportistas, principalmente por la ausencia en el uso de aditamentos para el aseguramiento de la carga, como ya se había comentado. Estos riesgos de accidente se presentan tanto en las inmediaciones de los CA, donde se realizan las actividades de carga y descarga, como en las vialidades ocupadas por las rutas de transporte de RSU valorizables. Las alteraciones en las vías de circulación se presentan en casi todos los casos observados, pues los vehículos suelen obstruir un carril de las vías de circulación durante la carga y descarga. También son estacionados en las inmediaciones de los CA hasta que se requiera de un servicio.



Gráfica 9. Afectaciones a las vialidades y dispersión de partículas contaminantes en Nezahualcóyotl.

La dispersión de los RSU valorizables durante su transporte podría ser algo común ante la evidencia encontrada. La ausencia de aditamentos para el aseguramiento de la carga en el 40% de los transportistas permite inferir que la carga de RSU se desplazará en el interior del vehículo durante el transporte. Parte de estos materiales podrán salir del vehículo y dispersarse en la vía pública, incrementando la contaminación por residuos sólidos del municipio. Esta dispersión de RSU valorizables se dará en las vialidades que



Mapa 2.- Tráfico de RSU valorizables en Nezahualcóyotl. Fuente: Elaboración propia en software QGIS.

forman parte del tráfico de residuos en el municipio.

Así mismo, el riesgo de accidente por el desplazamiento de la carga en los vehículos también es palpable por el escaso uso de aditamentos para el aseguramiento de la carga. Las rutas que siguen estos vehículos, mostradas en el Mapa 2,

constituyen vialidades con mayor riesgo de accidente por el tráfico de RSU en Nezahualcóyotl.

En el **Mapa 2** se muestran la superficie afectada por la dispersión de RSU valorizables derivada tanto de las actividades de transporte como por el almacenamiento temporal en CA. Los puntos negros en el mapa representan la localización de CA en el municipio. A cada CA le circula en color naranja, la superficie de almacenamiento temporal en vía pública, de la que se apropian los acopiadores en promedio. Estas zonas naranjas hay dispersión de RSU observada. Las vialidades remarcadas en color negro pertenecen a las rutas de transporte modeladas en QGIS bajo un algoritmo de distancia más corta entre CA y CT. Bajo el supuesto de que los transportistas buscan la distancia más corta, las vialidades remarcadas en negro conforman las rutas que siguen los vehículos que transportan RSU valorizables en Nezahualcóyotl. Las líneas negras en el **Mapa 2** representan líneas de dispersión de RSU valorizables por la falta de aseguramiento de la carga en los vehículos que transportan residuos. Tanto los puntos como las líneas negras son fuente de dispersión de RSU en Nezahualcóyotl. El mapa de calor sobre el que se ponen los puntos y líneas negras es un bosquejo de la intensidad de dispersión de los RSU, asociado al número de CA y rutas sobre puestas de residuos. El efecto del mapa de calor muestra que en las zonas amarillas la dispersión de RSU es más intensa y conforme se enfría el color, la dispersión de los RSU disminuye. El **Mapa 2** muestra la superficie urbana afectada por la dispersión de RSU por efecto combinado del almacenamiento en CA y del transporte.

#### IV. CONCLUSIONES

La propuesta de valor de los transportistas es proveer de materiales de los RSU a la industria de la valorización. La fuente de ingresos primordial es la venta de material recuperado de los RSU. Su principal estrategia es la consolidación y explotación de la economía de escala. Sus asociaciones clave están con los CA. Los transportistas hacen un uso intensivo del espacio público para cargar/descargar y almacenar temporalmente los residuos en sus unidades. El equipamiento necesario para operar es básico, siendo la mayor inversión necesaria la de vehículos de carga. Los transportistas generan riqueza y empleo, sin embargo, el valor logístico que agregan a las actividades de adquisición que se realizan en estos pudiera ser marginal si se consideran las externalidades negativas no cuantificadas observadas. Agregar valor a los materiales de los RSU a escala local en lugar de sólo transportarlos y almacenarlos podría incrementar el margen de utilidad, lo que permitiría internalizar costos que actualmente son cargados a la sociedad. Explorar alternativas de valorización de RSU en empresas locales es una línea de investigación futura de este trabajo.

#### V. REFERENCIAS

[1] Asefi, H., Shahparvari, S., & Chhetri, P. (2019). Integrated Municipal Solid Waste Management under uncertainty: A tri-echelon city logistics and transportation context. *Sustainable Cities and Society*, 50(February), 101606. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101606>

[2] Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management*, 48, 584–592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.025>

[3] Chang, K. T. (2016). Geographic information system. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, 1-10. Asefi, H., Shahparvari, S., & Chhetri, P. (2019). Integrated Municipal Solid Waste Management under uncertainty: A tri-echelon city logistics and transportation context. *Sustainable Cities and Society*, 50(February), 101606. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101606>

[4] Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministra. Estrategia, Planeación y operación* (3rd ed.). Pearson, Prentice Hall.

[5] Farahbakhsh, A., & Forghani, M. A. (2019). Sustainable location and route planning with GIS for waste sorting centers, case study: Kerman, Iran. *Waste Management and Research*, 37(3), 287–300. <https://doi.org/10.1177/0734242X18815950>.

[6] Foolmaun, R. K., & Ramjeeawon, T. (2013a). Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(1), 155–171.

[7] Fujii, Minoru, et al. "Regional and temporal simulation of a smart recycling system for municipal organic solid wastes." *Journal of cleaner production* 78 (2014): 208-215

[8] Hiramatsu, A., Hara, Y., Sekiyama, M., Honda, R., & Chiemchaisri, C. (2009). Municipal solid waste flow and waste generation characteristics in an urban-rural fringe area in Thailand. *Waste Management and Research*, 27(10), 951–960. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103819>.

[9] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank. <https://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/978-1-4648-1329-0>

[10] Kianpour, K., Jusoh, A., Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Nor, K. M., & Zavadskas, E. K. (2017). Factors influencing consumers' intention to return the end of life electronic products through reverse supply chain management for reuse, repair and recycling. *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/su9091657>.

[11] Pires, A., Martinho, G., & Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>

[12] Sanjeevi, V., & Shahabudeen, P. (2016). Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai. *Waste Management and Research*, 34(1), 11–21. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607430>

[13] SEMARNAT-INECC. (2006). *Diagnóstico Básico Para La Gestión Integral De Los Residuos*.

[14] SEMARNAT. (2012). *Informe De La Situación Del Medio Ambiente En México. Compendio De Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave Y De Desempeño Ambiental*. Edición 2012. [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf)

[15] SEMARNAT. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales*. 3(2), 54–67. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe\\_15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe_15_completo.pdf)

[16] Yoon, S. W., & Jeong, S. J. (2016). Implementing coordinative contracts between manufacturer and retailer in a reverse supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/su8090913>

[17] Williams, E., Kahhat, R., Allenby, B., Kavazanjian, E., Kim, J. and Xu, M., Williams, E., Kahhat, R., Allenby, B., Kavazanjian, E., Kim, J., Xu, M., & M Z Y K A H H A T , † B R A D E N A L L E N B Y , † E D W A R D K A V A Z A N J I A N , † J U N B E U M K I M , † A N D M I N G X U , R. (2008). Environmental, social and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. *Environmental Science & Technology*, 42(17), 6446–54. <https://doi.org/10.1021/es702255z>

**Caracterización de la cadena de suministro inversa  
de residuos metálicos: el caso de una empresa  
eslabón que los valoriza**

*Valorisation of metal waste in reverse supply chains:  
characterization of logistics operations*

Javier Gómez Maturano, Benito Sánchez Lara,  
Ana Karen Tenorio Hernández

# Caracterización de la cadena de suministro inversa de residuos metálicos: el caso de una empresa eslabón que los valoriza

Ing. Oscar Flores-Bárceñas  
Departamento de Ingeniería de  
Sistemas, Facultad de  
Ingeniería  
Universidad Nacional  
Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[floresb.oscar19@gmail.com](mailto:floresb.oscar19@gmail.com)

Dr. Benito Sánchez-Lara  
Departamento de Ingeniería de Sistemas,  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de  
México  
Ciudad de México, México.  
[blara@unam.mx](mailto:blara@unam.mx)

**Resumen:** En la Ciudad de México (CDMX), de acuerdo con su Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA, 2020), a diario se generan más de 13 mil toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU). De estos residuos, cerca de 3 millones de toneladas anuales son llevados a disposición final sin la posibilidad de valorización, reciclaje o reutilización. Los residuos metálicos se clasifican como RSU, siempre y cuando se generen en los domicilios, de lo contrario se clasifican como residuos de manejo especial (RME) o incluso peligrosos (RP). Otra clasificación de los residuos metálicos es la que los diferencia entre ferrosos y no ferrosos. También con datos de la SEDEMA (2020), se estima que los residuos metálicos son los terceros de mayor generación en la CDMX, representan el 17.2% del total de residuos generados con potencial de reciclaje, sin embargo, sólo se valoriza el 3%, esta diferencia evidencia su potencial de valorización. El objetivo de este artículo es caracterizar las operaciones de adquisición y de transporte en una empresa eslabón de la Cadena de Suministro Inversa (CSI) que valoriza residuos metálicos. Las Operaciones Logísticas de Adquisición (OLA) son las operaciones realizadas a los residuos metálicos, y a los residuos en general, antes de su valorización, y las Operaciones Logísticas de Transporte (OLT) son aquellas que implican al transporte como elemento determinante. Se presentan los hallazgos de la caracterización.

**Palabras Clave:** Operaciones Logísticas de Adquisición; Operaciones Logísticas de Transporte; Residuos Metálicos; Valorización.

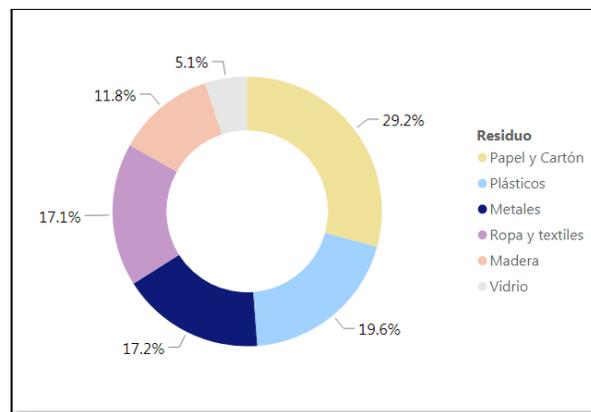
## I. INTRODUCCION

Los residuos metálicos, de acuerdo con la Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013, son residuos con alto potencial de reciclaje por su costo de valorización y posibilidad de reinserción en cadenas productivas. Los residuos metálicos tienen características técnicas, económicas y ambientales que los hacen propicios para ser reincorporados a procesos o tratamientos que los valorizan. La fundición es el proceso principal a través del que es factible elaborar nuevos productos metálicos, se extiende la vida de los residuos, se disminuye la cantidad que se lleva a disposición final y se reducen impactos ambientales.

Los residuos metálicos se clasifican como RSU, siempre y cuando se generen en los domicilios. Por su composición química, de acuerdo con la NADF-024-AMBT 2013, se clasifican en ferrosos y no ferrosos, los ferrosos son aquellos

que contienen hierro, se emplean principalmente en el sector automotriz, manufactura de moldes primarios, productos electrodomésticos, dispositivos de precisión, maquinaria industrial y materiales de construcción. Los no ferrosos son aquellos metales y sus aleaciones que no contienen hierro, este es el caso del cobre y el aluminio, considerados materia prima de la industria de la transformación.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2017 se generaron poco más de 1.7 Mt de residuos metálicos en México, cifra 20% mayor respecto de 2008. Por su lado, la SEDEMA (2020) informó que los residuos metálicos representan el 17.2% del total de residuos generados con potencial de reciclaje en la CDMX. Véase la Figura 1.



**Figura 1.** Residuos con potencial de reciclaje, 2019.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos de la SEDEMA (2020).

Diariamente se generan en la ciudad cerca de 316 toneladas de residuos metálicos, de las cuales se aprovecha el 3%, de lo que se infiere una amplia oportunidad de valorización, en particular en los metales ferrosos.

En la Figura 2 se muestra la clasificación de residuos ferrosos y no ferrosos, señalando el residuo, su origen y alguna opción para su aprovechamiento. Los residuos no ferrosos son los más abundantes y también los que tienen mayores oportunidades de aprovechamiento.

Color de Identificación: Gris claro Pantone 7540		
Metal Ferroso		
Material	Ejemplos	Aprovechamiento
Fierro Acero Hierro fundido Acero Inoxidable	Chatarra de procesos industriales Chatarra Vehículos, maquinaria industrial Materiales de construcción	Fundición y elaboración de nuevos productos
Metal No Ferroso		
Material	Ejemplos	Aprovechamiento
Cobre Aluminio Estaño Plomo Zinc Níquel Cromo Titanio Magnesio Latón Bronce Antimonio Plata Oro Platino	Bloques o cárteres de motor Cables eléctricos Chapas Desguaces de vehículos Instalaciones de fontanería gas y calefacción Chapas Latas de bebida Litográficas Papel de aluminio Partes de equipos eléctricos y electrónicos Latas de bebida Piezas de fundición Productos de latón Recortes y virutas de productos de aluminio Rines de llantas de coche Recortes y virutas Partes de electrónicos Piezas de fundición	Fundición y elaboración de nuevos productos Planchas de construcción, Planchas de imprentas, papel de aluminio Partes de carrocerías de vehículos perfiles para ventanas piezas para motores, manijas de puertas cables Subproductos con aprovechamiento industrial como óxidos de aluminio, polvos metálicos, sales, etc.

**Figura 2.** Clasificación de los residuos metálicos.  
**Fuente:** Gaceta Oficial del Distrito Federal (2015).

De lo presentado en la Figura 2, para ilustrar la importancia que tienen algunos de los materiales, se pone como ejemplo al cobre. El cobre es uno de los metales más utilizados, es el metal no precioso con mejor conductividad eléctrica. En la industria eléctrica es el segundo más importante, 27% del consumo está relacionado con cables de cobre. En la industria de la construcción representa 40% de sus insumos, en particular, tubería para agua y gas. La característica relevante del cobre que lo hace de alto valor entre los residuos es su durabilidad, se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas, además, en comparación con la energía requerida en su transformación una vez extraído de la naturaleza, en su reciclado es posible ahorrar hasta 90% de energía (Ingemecánica, 2021).

Considerando lo expuesto en los párrafos anteriores, este trabajo de investigación presenta los avances para caracterizar la CSI de los residuos ferrosos y no ferrosos, tomando como referencia una empresa caso de estudio, eslabón de una cadena de suministros. La empresa caso de estudio es una compañía de la industria eléctrica, en adelante denominada “*empresa de servicios de electricidad*”, que genera residuos metálicos, ferrosos y no ferrosos, derivados de los servicios que realiza en la CDMX y en el interior del país. La caracterización de la CSI de residuos metálicos toma interés e importancia si se considera que la valorización se da en la cadena de suministros y, con base en el análisis de sus operaciones logísticas de adquisición y de transporte, es factible identificar áreas de mejora de la valorización.

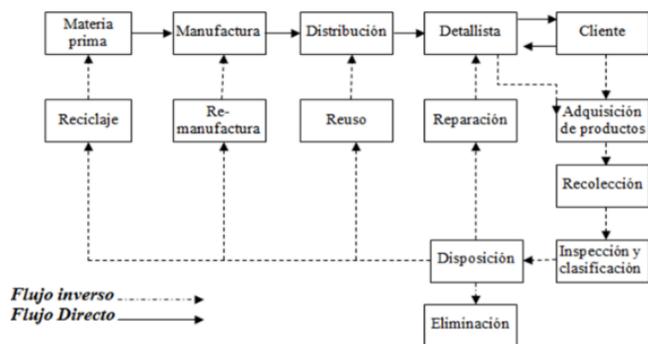
El artículo está estructurado en cinco secciones: en la introducción se presentan los antecedentes y datos relevantes sobre la generación de residuos metálicos en México y la CDMX. La segunda sección contiene el marco conceptual para la caracterización de la CSI, valorización y operaciones logísticas. La tercera sección indica los materiales y métodos utilizados para la colecta y análisis de los datos. La cuarta sección se enfoca en presentar los resultados de la

caracterización de la empresa caso de estudio. En la quinta sección se presentan las conclusiones del trabajo.

## II. CADENAS DE SUMINISTROS INVERSAS Y OPERACIONES LOGÍSTICAS.

Guide et al. (2003) señalan que una CSI está constituida por los procesos necesarios para recuperar un producto usado, para deshacerse de este o para reutilizarlo. Por su parte, Kinobe et al. (2012) señalan como procesos de las CSI: la reutilización, el reciclaje y la disposición final del residuo y/o sus componentes y materiales. Nakashima y Gupta (2013), más que en los procesos, enfatizan en la recuperación del valor sobrante de los residuos para un mercado. En general, las CSI se conforman bajo un enfoque de eficiencia, esto es, la creación de valor económico con menores impactos sociales y ambientales.

Agrawal et al. (2015) señalan el flujo directo de una cadena de suministros, empezando con la materia prima, seguido de los eslabones de manufactura, distribución, detallista y cliente; no obstante, señalan un flujo inverso que busca la extensión del ciclo de vida de los materiales y productos a partir de procesos de adquisición, recolección e inspección que determinan el destino de los residuos, entre ellos, la disposición final. La Figura 3 muestra las actividades y procesos de la Cadena de Suministros y el flujo que delimita una CSI.



**Figura 3.** Flujo directo e inverso en una cadena de suministros.  
**Fuente:** Agrawal et al. 2015.

La importancia de las CSI radica en que es en ellas donde se valorizan los residuos a través de operaciones logísticas, este trabajo se enfoca en operaciones de adquisición y de transporte. A continuación, se describen las OLA y las OLT. Ambas operaciones agregan valor a los residuos, esto es, valor logístico. Estas operaciones permiten que los residuos o los materiales recuperados se reincorporen a cadenas directas.

La adquisición de residuos es uno de los problemas operacionales a los que se enfrentan las autoridades locales en la gestión de dichos residuos. Las OLA vinculan en las CSI la generación y valorización de los residuos. En general, las OLA las llevan a cabo actores privados informales que recuperan los materiales que tienen valor comercial, siempre buscando el menor costo de recuperación, lo que genera externalidades negativas.

Con base en la NADF-024-AMBT-2013, las OLA consideradas son las siguientes:

**Recolección.** Operación que implica recuperar los materiales valorizables de los residuos en los lugares donde se generan o almacenan temporalmente para después transportarlos a centros de acopio.

**Almacenamiento temporal.** Operación que implica depositar el residuo o materiales recuperados en recipientes o espacios apropiados de acuerdo con su cantidad y tipo.

**Manejo de materiales.** Operación que implica el movimiento de los residuos o materiales dentro del almacén con los medios materiales y humanos adecuados para ello. Incluye: el embalaje, la manipulación, el transporte interno, la carga y la descarga.

**Transporte.** Operación de desplazamiento de los residuos desde los puntos de almacenamiento temporal o centros de acopio a estaciones de transferencia, plantas industriales de tratamiento o relleno sanitario.

**Transferencia.** Operación de traspaleo de los residuos desde los vehículos recolectores a otros vehículos con mayor capacidad de carga. El traspaleo es posible en una instalación diseñada para tal fin denominada estación de transferencia.

El análisis de las OLA conlleva a identificar áreas de mejora que permitan ampliar el margen de valorización de los residuos dentro de las CSI.

Por otro lado, las OLT dentro de los procesos de CSI, están ligadas al desplazamiento de los residuos o de los materiales recuperados a sitios de aprovechamiento, transformación o incluso de disposición final. Sánchez-Lara (2019) las describe ampliamente, a continuación, se resume dicha descripción:

**Definición y operación de los modos de transporte.** Para mover la carga, suministros, bienes o residuos, hay dos alternativas: transporte multimodal (implica usar modos de transporte diferentes) y transporte intermodal (implica el uso de una sola unidad de carga). Cómo operar los modos de transporte, entre otras cosas, depende de: el aprovechamiento de la capacidad, la relación costo-precio-volumen, el tamaño del envío.

**Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del transporte.** Refiere a la forma en que la carga se manipula en los modos de transporte. Hay dos alternativas: esquema tipo LTL (Less Than Truckload), esto es, carga consolidada, y esquema tipo FTL (Full Truck Load), esto es, camión o carga completa.

**Diseño de la red de transporte.** La forma que toma una red de transporte está relacionada con: el producto, el mercado, el tipo de transporte, la ruta por sí misma, las cantidades transportadas, la tecnología usada, las características y ubicación de los almacenes, incluso con estrategias organizacionales.

**Definición del perfil del transportista.** El conductor, operador o transportista es elemento central del transporte, a

través de este se fomenta un buen uso de los activos, además de proporcionar a los clientes un nivel de servicio aceptable. El perfil de transportista considera su formación, capacitación y experiencia. Implica algunas características físicas y mentales que determinan el dominio sobre el vehículo (p. e. agudeza visual y auditiva y tiempo de reacción).

**Actuación de agentes logísticos.** Los agentes logísticos involucrados en una cadena de suministros son diferentes y esa diferencia está asociada a la forma en que actúan. Se identifican dos tipos: intramodales e intermodales.

**Gestión del riesgo en el transporte.** En el movimiento de la carga se distinguen tres tipos de riesgos: (1) que se retrase el embarque o envío, (2) que el envío no llegue a su destino debido a factores externos que alteraron los nodos o ruta y (3) el riesgo asociado al material transportado, en el caso de que su transporte sea peligroso por su naturaleza o por su valor.

**Gestión de la fricción logística.** La logística promete la circulación continua de los bienes y suministros, además de la disminución, incluso eliminación, de los diferentes tiempos muertos. La fricción logística es la resistencia al flujo continuo de las mercancías o carga derivado de la complejidad de los sistemas de distribución.

**Balance de costos de transporte.** Lograr un balance de costos implica considerar los diferentes eslabones que constituyen a la cadena, además de las funciones que cada eslabón tiene. Relevante es que cada eslabón considere diferente función objetivo, lo que implica balancear objetivos diferentes que en principio están en conflicto.

De los párrafos anteriores, es notoria la extensión de un estudio que detalle los diferentes procesos implicados en las CSI, por esta razón, este trabajo, siendo de carácter empírico, se restringe a la logística, en particular a las Operaciones Logísticas de Transporte y a las Operaciones Logísticas de Adquisición que se desarrollan en la empresa caso de estudio. El estudio de las OLA y OLT permiten la caracterización de la empresa caso de estudio como eslabón de una CSI que valoriza residuos metálicos.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS.

La empresa caso de estudio de esta investigación es una microempresa que presta servicios de electricidad de los que se generan residuos, mayormente metálicos. La empresa se consideró como un caso de estudio adecuado dado el volumen de residuos metálicos que genera, el valor de mercado de dichos residuos y, sobre todo, el interés de la empresa por identificar áreas de oportunidad en sus operaciones logísticas. A la empresa se le considera como un eslabón relevante de una CSI que valoriza residuos metálicos.

El contacto y recolección de información de la empresa comenzó en octubre de 2020, realizando visitas y una entrevista con el dueño-director de la compañía. Para la entrevista se formuló un cuestionario constituido por preguntas dirigidas a obtener datos sobre los residuos que genera la empresa, las operaciones logísticas que realiza y las

áreas de oportunidad que identifica su dueño-director. Por razones de confidencialidad se omite el nombre de la empresa.

Se consideró conveniente utilizar el caso de estudio como parte de un diseño de investigación cualitativa enfocada al desarrollo de constructos y teorías sobre fenómenos contemporáneos, en este caso la investigación está enfocada a caracterizar las CSI que valorizan residuos y las operaciones logísticas que se realizan en dichas CSI. Los casos de estudio se enmarcan en lo que Lyles y Mitroff (1980) señalan es la Teoría Fundamentada (TF). La TF implica la colecta y verificación de datos, lo que permite ser conscientes de las contingencias que afectan las hipótesis que guían la investigación. La TF permite ir más allá del objetivo inicial del proyecto, por ello es útil en investigaciones exploratorias, como es el caso.

Para la caracterización se consideró a la empresa como un eslabón de la CSI y se utilizó la propuesta de Sánchez-Lara y Gómez-Maturano (2018) que proponen identificar en la CSI, la naturaleza, los procesos, los agentes y los canales. Para la caracterización de las OLA se consideró lo propuesto en Gómez-Maturano (2018). Para la caracterización de las OLT se contempló lo planteado por Sánchez-Lara (2019).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La empresa caso de estudio lleva a cabo servicios de electricidad domésticos, comerciales e industriales de los que se generan residuos sólidos, en particular residuos metálicos. Los servicios que ofrecen son a nivel nacional y constituyen la principal actividad económica de la empresa. Como parte del servicio, el grupo operativo adquiere los insumos considerando los requerimientos de los clientes y el espacio disponible donde se realizará el proyecto. En el área de trabajo se cortan los insumos en relación con las especificaciones del proyecto, a partir de lo cual se generan los residuos.

Con el propósito de conocer qué residuos se generan y cómo se manejan y disponen, se diseñó un cuestionario con el que se realizó una entrevista al dueño-director de la empresa. Los resultados de la entrevista se describen a continuación. En el mes de colecta de datos, el principal residuo de la compañía es el metal: 41.7% del total. Por otro lado, 20.8% son residuos plásticos, 15.6% son residuos orgánicos, 10.4% papel y cartón, 5.2% son envases multicapas, 2.1% aparatos de alumbrado, 2.1% focos ahorradores, 1% son residuos de la construcción, 0.5% son desechos de herramientas eléctricas y electrónicas y 0.5% son instrumentos de vigilancia y control. Estas proporciones no difieren en demasía a las proporciones de otros meses anteriores. La Figura 4 muestra la distribución porcentual de residuos que genera en promedio la empresa, en el transcurso de un mes de operaciones. En la categoría Otros se aglutina la suma de los residuos que se generan en menor proporción.

Por la naturaleza de los servicios que presta la empresa, los residuos metálicos son los que genera en mayor proporción, sin embargo, los porcentajes de los otros residuos hacen pensar la oportunidad que la empresa tiene si quisiera

valorizarlos. Los residuos metálicos no ferrosos son los que recupera actualmente la empresa, sobre todo cable de cobre. Entre los ferrosos están: tubos galvanizados y piezas de ensamble.

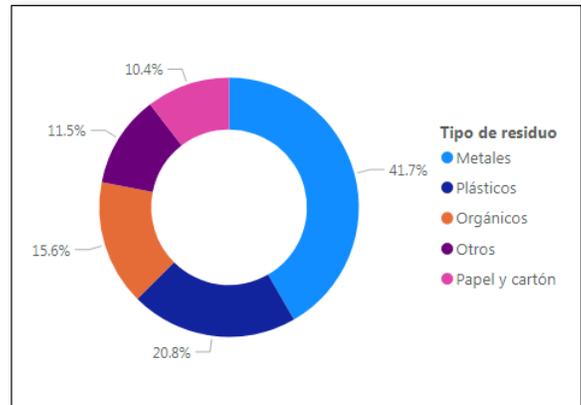


Figura 4. Residuos generados por la empresa de servicios de electricidad  
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa.

A continuación, se describen las OLA que realiza la empresa y que agregan valor logístico a los residuos.

**Recolección.** La empresa caso de estudio genera los residuos metálicos a partir de los servicios que presta. Retazos de cable eléctrico es el residuo de metal no ferroso que se genera en mayor cantidad. El cable se adquiere de los proveedores en rollos de entre 100 y 500m. de longitud, dependiendo de los requerimientos y especificaciones de cada servicio. La Figura 5 muestra la generación del residuo de cable.

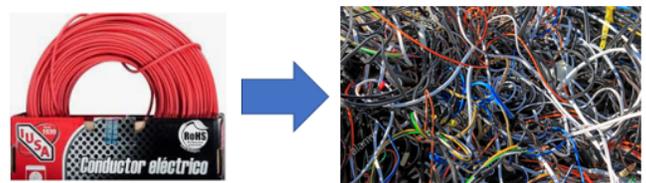


Figura 5. Residuos metálicos no ferrosos que genera la empresa caso de estudio.

Los residuos ferrosos que genera la empresa son pedazos de tubos de acero galvanizados. La empresa adquiere tubos de diferente grosor (los más recurrentes son: 1/2, 3/4 y 1 1/4 pulgadas), la longitud es estándar: 3 metros. Los tubos se cortan de acuerdo con las especificaciones de trabajo.

Además de los residuos de cable y tubo, adquiere piezas de ensamble metálicas, sobre todo para las instalaciones eléctricas, las más comunes son: tornillos, pijas, abrazaderas, coples y conectores, de estas se generan residuos metálicos por la manipulación y desgaste natural de las piezas.

Los residuos de plástico y papel y cartón, en general, se generan del embalaje de las piezas que la empresa adquiere durante el servicio.

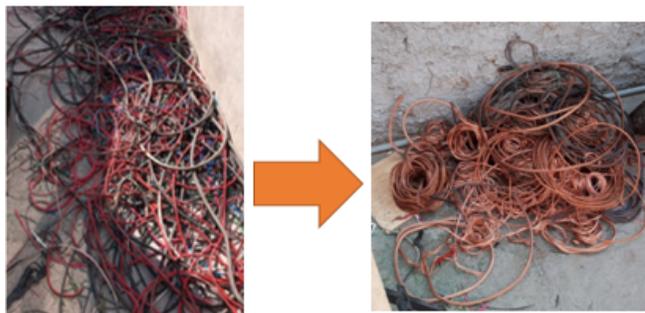
**Almacenaje temporal.** Una vez que el servicio concluye o incluso antes, los residuos generados se reúnen y se transportan al almacén de la empresa. Para el transporte se emplea una unidad con capacidad de 1.5 toneladas. Los trozos de cable (en general menores a 10 m.) son almacenados hasta aproximadamente seis meses en la empresa, la cantidad almacenada varía dependiendo de los servicios prestados y la generación. Por otro lado, los pedazos de tubo y piezas de ensamble son almacenados entre una y dos semanas, esto se debe a que se comercializan fácilmente con recolectores, casi siempre informales, quienes recogen los residuos directamente del almacén temporal y los transportan por su cuenta a centros de acopio. La empresa no realiza ningún otro tratamiento ni OLA sobre estos residuos.



**Figura 6.** Residuos metálicos ferrosos que genera la empresa caso de estudio.

La empresa asigna un espacio dedicado al almacén temporal de los residuos, sin embargo, no lo tiene delimitado ni adecuado para garantizar y mantener la seguridad y la calidad de estos, sobre todo ante el deterioro que puede causar el polvo, la humedad y la lluvia. Tampoco lleva registro de lo que acumula, así, no está definido el tiempo o la cantidad que se puede almacenar temporalmente.

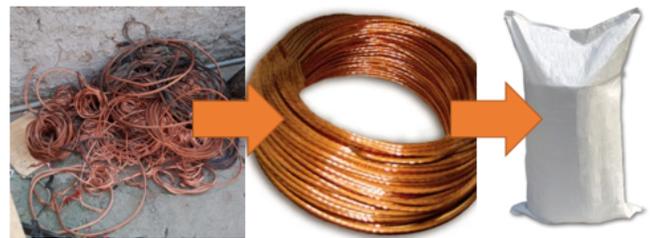
**Manejo de los materiales.** La empresa aprovecha tiempos libres de sus trabajadores para que realicen actividades de limpieza, clasificación y empaquetado de los materiales, entre ellos el cable de cobre. Aproximadamente se destina una hora muerta de cada trabajador para quitar el aislante plástico de 3.0 kg. de cable de cobre. La Figura 7 muestra el desecho de cable de cobre y el mismo sin el aislante plástico que lo envuelve y protege.



**Figura 7.** Limpieza de cable de cobre.

Una vez que al cable de cobre se le quita el plástico aislante, se clasifica como cable de primera y de segunda calidad, dependiendo de si el cable está sucio o no, tiene impurezas o presenta oxidación. Posteriormente se enrolla en bobinas que son emplayadas y empaquetadas en costales, mismos que se pesan y etiquetan. Véase la Figura 8.

Los costales con cable se almacenan temporalmente, sin embargo, como se señaló, la empresa no cuenta con un espacio que garantice la seguridad, calidad, monitoreo y control del residuo, y ahora más que antes es susceptible a robo y deterioro. Tampoco se tiene definido el tiempo y la cantidad de residuo a almacenar.



**Figura 8.** Empaquetado de residuos de cable de cobre.

Las OLA descritas agregan valor a los materiales y esto permite incluirlos en procesos de transformación que aumentan su valor. En otras palabras, las OLA permiten integrar los residuos a cadenas de suministro directas o seguir en la cadena inversa que conlleva al reciclado, la recuperación y la remanufactura de los materiales.

**Transporte.** La empresa caso de estudio traslada los residuos a un centro de acopio. En el centro de acopio se procesan los residuos metálicos adecuándolos para su integración en cadenas de suministros directas. Es otro eslabón de la CSI de los residuos metálicos.

Respecto de las OLT, a continuación, se describe cómo se llevan a cabo en la empresa caso de estudio.

**Definición y operación de los modos de transporte.** La empresa emplea un vehículo propio de carga de 1.5 toneladas, transporta el material desde la fuente generadora, lugar donde se presta el servicio, hasta el almacén temporal y del almacén temporal al centro de acopio. El transporte es unimodal.

**Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del transporte.** La empresa traslada los residuos bajo un esquema FTL. El transporte de los materiales implica que la empresa emplee hasta 5 de sus trabajadores incluyendo al operador del vehículo. Se programa el traslado en los tiempos libres o muertos de los trabajadores. El vehículo que se utiliza es el mismo vehículo con el que la empresa realiza los servicios que presta, 1.5 toneladas, así, el traslado de los materiales incide en la operación diaria de la empresa. El peso de la carga en cada traslado es aproximadamente de 500

kg., en referencia a la capacidad del vehículo, se está desaprovechando la capacidad de carga.

**Diseño de la red de transporte.** La empresa realiza envíos directos del almacén temporal a un centro de acopio ubicado en Tultitlán, Estado de México. El centro de acopio recibe material de múltiples pequeños generadores y acopiadores, es a partir de este centro que los materiales se reinsertan en una o varias cadenas productivas. La Figura 9 muestra la ubicación estimada de la empresa caso de estudio, el centro de acopio y la ruta de transporte.

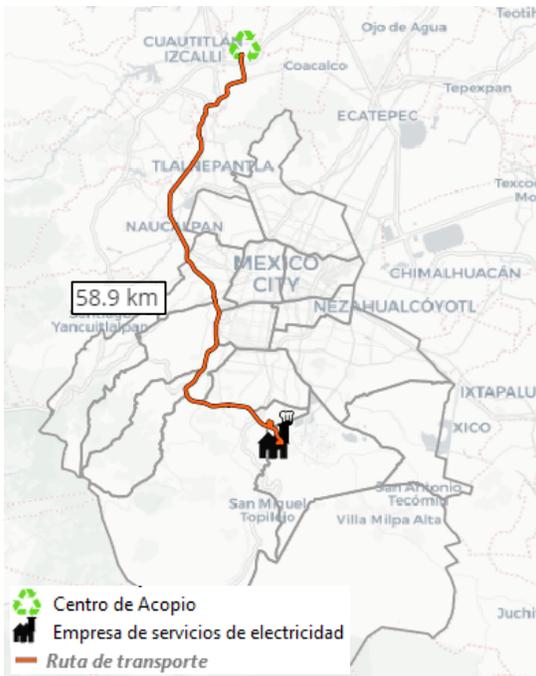


Figura 9. Ruta de transporte de los residuos metálicos de la empresa caso de estudio al centro de acopio.

**Definición del perfil del transportista.** El operador del vehículo forma parte del equipo operativo de la empresa, lo cual incide en las actividades de la compañía. Cuenta con los conocimientos y documentación necesaria para la conducción de la unidad, no se considera en su perfil el riesgo y/o peligro asociado a la carga que transporta.

**Actuación de agentes logísticos.** La empresa no terceriza Operaciones Logísticas de Adquisición ni de Transporte.

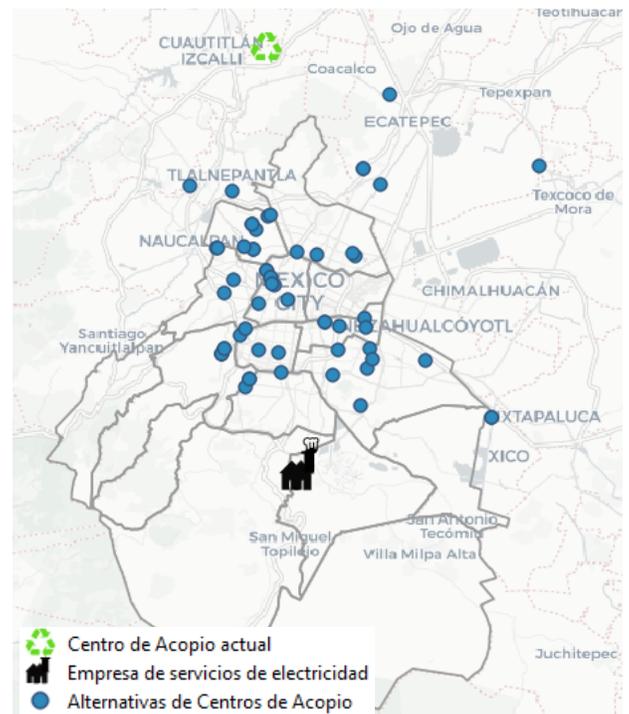
**Gestión del riesgo en el transporte.** El traslado del material al centro de acopio implica cierto riesgo no calculado en la empresa. El riesgo asociado al transporte considera como factores internos al material no ferroso y al peso que se transporta, esto es, la carga. La vulnerabilidad se da por el valor comercial de los materiales no ferrosos. Las amenazas se traducen en posibles robos y sus consecuencias. El robo del material haría realidad los tres riesgos de transporte y múltiples consecuencias. Un robo es un

escenario no aceptable y no tolerable para la empresa dado que afectaría su operación diaria. La empresa no tiene seguros que pudieran absorber el riesgo.

Respecto del valor del material que se transporta, la empresa asume un riesgo económico por el transporte. El cobre es uno de los residuos mejor valorados en el mercado del reciclaje, 1 kg. tiene un valor comercial de entre \$90 y \$150. Así, el valor de la carga en un traslado de 500Kg. es de aproximadamente de \$45 a \$75 mil pesos.

**Gestión de la fricción logística.** La empresa no cuenta con un registro sobre el volumen de los residuos en el almacén temporal. No existe un cálculo del tiempo necesario de almacenamiento para considerar su traslado al centro de acopio, así, se parte de cero en la posible mejora de la eficiencia de gestión de los inventarios.

La decisión de a qué centro de acopio transportar los materiales no ferrosos se toma en el momento del traslado. Existen múltiples opciones y la empresa no tiene conocimiento de cuáles están certificados, en cuáles no tendrá que esperar el pago por el residuo, cuáles tienen básculas calibradas, cuál es la mejor opción en términos de ubicación geográfica y cuál ofrece el mejor precio de compra considerando que éste es volátil, varía incluso de acuerdo con la temporada del año. La Figura 10 muestra los centros de acopio de residuos metálicos a los cuales la empresa caso de estudio podría transportar los propios. El portafolio de selección de centros de acopio es amplio, sin embargo, no se cuenta con información de estos, sobre todo, de los precios, si se tuviera información podrían definirse itinerarios y rutas.



**Figura 10.** Centros de acopio de residuos metálicos en la zona metropolitana del valle de México.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de SEDEMA, 2017.

**Balance de costos de transporte.** No se cuenta con registro de los costos de las Operaciones Logísticas de Adquisición ni de Transporte que realiza la empresa para la valorización de los residuos.

Los problemas y necesidades de la empresa respecto de los residuos que genera, ofrecen un conjunto de oportunidades para mejorar su valorización, sobre todo de los residuos metálicos, aunque la empresa no sólo genera estos residuos. Por supuesto, el principal interés es el valor comercial de los materiales y la recuperación en alguna medida de los gastos en materias primas por los servicios que ofrece la empresa.

Como resultado de la descripción de las OLA y de las OLT, se recomienda lo siguiente:

- Inicio del registro periódico de las OLA y de las OLT para calcular cuánto le cuesta a la empresa los procesos de adquisición y transporte y cuánto podría recuperar por la valorización de los materiales. Esto implica un análisis costo-beneficio.
- Adecuación de un espacio para el almacenamiento temporal de los residuos valorizables, de tal manera que se garantice su seguridad y calidad, y, por ende, el incremento del valor logístico y comercial del residuo.
- Definición de un proceso de manejo de materiales enfocado a las actividades de limpieza, clasificación y empaquetado, proceso que busque agregar valor a los materiales y no sólo resguardo.
- Determinación de los periodos de almacenamiento temporal en dependencia con las cantidades de residuos por periodo, la capacidad del vehículo, el aprovechamiento de la capacidad de carga, entre otros factores.
- Estimación de la factibilidad y viabilidad de tercerizar el traslado de los materiales a los centros de acopio.
- Análisis costo beneficio de la adquisición de un seguro asociado al traslado de los materiales, seguro que considere los riesgos vinculados al robo de los materiales.
- Análisis comparativo de centros de acopio a donde se lleve el material, considerando como criterios los siguientes: si están certificados, si garantizan el peso, si pagan por los materiales inmediatamente y si ofrecen el mejor precio de compra.

## V. CONCLUSIONES

Actualmente, de las poco más de 13 mil toneladas de residuos que se generan diariamente en la CDMX, el 60% se

destina a disposición final, con lo cual, se elimina casi completamente la posibilidad de su valorización.

Las CSI, con todas sus externalidades positivas y negativas, surgen como una alternativa para la reducción de los residuos. Son parte de un modelo de manejo que amplía el ciclo de vida de los materiales a partir de operaciones logísticas que buscan la eficiencia en la valorización, algunos autores podrían considerarlas como parte de la Economía Circular.

La caracterización de las OLA y OLT se enfoca en identificar la naturaleza, actores, agentes y canales de las CSI. Es relevante en términos de la valorización de los residuos, de esta se desprenden áreas de oportunidad en las operaciones. Son las CSI las estructuras de agentes económicos y procesos donde es factible la valorización y eficiencia, buscando cumplir con criterios de sustentabilidad y circularidad.

La caracterización de la CSI de los residuos metálicos, considerando a la empresa caso de estudio como uno de sus eslabones, describe a las OLA y OLT que agregan valor a los residuos metálicos generados, así como las vulnerabilidades logísticas. Esto da pauta a estudios para establecer y evaluar alternativas que inciden, no sólo en las operaciones sino en el quehacer de la empresa y de la CSI. En particular, estudios financieros y de costos logísticos y empresariales.

Como ocurre con otras CSI, la CSI que valoriza residuos metálicos está conformada por pequeñas y múltiples empresas generadoras, que trasladan sus residuos a centros de acopio, diferenciados por el nivel de inversión para agregar valor a los materiales recuperados y por las cantidades que reciben. Estos centros de acopio son menos que los generadores. Los centros de acopio transfieren los materiales a cadenas productivas. Lo anterior puede simplificarse en la imagen de una red con diversos nodos generadores y otros nodos que se van reduciendo en número hasta llegar a los nodos que incorporan los materiales recuperados a cadenas productivas.

La extensión de la red es muy probable que esté determinada por la densidad de valor del residuo. Esto es el valor de mercado del residuo por peso o volumen. Para el caso, la densidad de valor de los residuos metálicos, comparándolo con otros residuos, es mucho mayor, por ejemplo, que la densidad de valor del PET. Así, la CSI de los residuos metálicos es una red menos extensa, con menos nodos y enlaces. Saberlo es materia de la caracterización completa de la CSI y de un análisis comparativo con otras cadenas.

La empresa caso de estudio es un eslabón de la CSI de residuos ferrosos y no ferrosos. Las OLA y OLT que realiza agregan valor logístico y comercial a los residuos que genera. La densidad de valor de los residuos, en particular de los no ferrosos, es el motor de la valorización del residuo y de su integración a cadenas directas. Podríamos decir que

responde a un modelo con flujo tipo *pull*. Por la naturaleza de la empresa caso de estudio, tendrá que ser calculada la inversión en operaciones ad hoc para incrementar el margen de valor agregado al residuo.

#### REFERENCIAS.

1. Agrawal, S., Singh, R.K. and Murtaza, Q. (2015) A Literature Review and Perspectives in Reverse Logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76-92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009>
2. De Brito, M. P. (2002). Reverse Logistics: a review of case studies. *Science*, (1998), 1–32. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17020-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17020-1_13).
3. Gaceta Oficial del Distrito Federal (2015). Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013 sobre Separación, Clasificación, Recolección Selectiva y Almacenamiento de los Residuos del Distrito Federal. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf>.
4. Georgiadis, P., & Vlachos, D. (2004). The effect of environmental parameters on product recovery. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 449–464.
5. Gómez-Maturano, J. y Sánchez-Lara, B. (2018) Procedimiento para caracterizar Cadenas de Suministro Inversas que valorizan Residuos Sólidos Urbanos. *Memorias Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2018)*, Ciudad de México, Octubre 10-12. ISBN 978-607-96403-1-6. pp. 61-70.
6. Guide, V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003). Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery. *Journal of Operations Management*, 21(3), 259–279.
7. Hernández, Hernán. Usos, propiedades y aplicaciones del cobre. <https://electronica.mx/ usos-propiedades-y-aplicaciones-del-cobre/>.
8. Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2013). Reverse Logistics. In S. M. Gupta (Ed.), *Reverse supply chains: issues and analysis* (p. 401). New York: Taylor & Francis Group.
9. Ingemecanica. Propiedades mecánicas y químicas del cobre. Recuperado el 14 de abril de 2021. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html>.
10. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Residuos sólidos urbanos generados, por tipo de residuo. Metales (Miles de toneladas). Recuperado el 6 de mayo de 2021. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/#divFV62070842396207084239>.
11. Kinobe, J. R., Gebresenbet, G. & Vinnerås, B. (2012). Reverse logistics related to waste management with an emphasis on developing countries - A review paper. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 1, 1104-1118.
12. Lyles, M. A. and Mitroff, I. I. Organizational problem formulation: an empirical study. *Administrative Science Quarterly*, 1980, 25, pp. 102-119.
13. Nakashima, K., & Gupta, S. M. (2013). Modeling Supplier Selection in Reverse Supply Chains (p. 401). In S. M. Gupta (Ed.), *Reverse Supply Chain: Issues and analysis*. New York, USA: Taylor & Francis Group.
14. Sánchez-Lara, B. (2019) Operaciones Logísticas de Transporte, Documento inédito, Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, UNAM.
15. Secretaría del Medio Ambiente (2017), Directorio de Centros de Acopio de Residuos Urbanos en la CDMX. [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/planes\\_de\\_manejo\\_ autorizados.pdf](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/planes_de_manejo_ autorizados.pdf).
16. Secretaría del Medio Ambiente (2020). Inventario de Residuos Sólidos 2019. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/inventarioderesiduossolidos-ciudaddemexico-2019.pdf>.

**Valorización del vidrio en cadenas  
de suministro inversas y modelos de negocio  
circulares potenciales**

*Valorisation of Glass Waste in Reverse  
Supply Chains and Potential Circular Business Models*

Paola J. De Luna-Carriche, Benito Sánchez-Lara,  
Edgar Perrusquía-Castro

# Valorización del vidrio en cadenas de suministro

**Ing. Paola J. De Luna-Carriche**

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[paodeluna@comunidad.unam.mx](mailto:paodeluna@comunidad.unam.mx)

**Ing. Edgar Perrusquía-Castro**

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[edgar.perrusquia@gmail.com](mailto:edgar.perrusquia@gmail.com)

**Resumen:** Muchos de los sistemas de producción actuales no son sostenibles lo que provoca que la cantidad de residuos que se generan no haya disminuido, incluso sea cada vez mayor. La transformación a modelos sostenibles está tomando décadas, sin embargo, las empresas han empezado a cambiar sus modelos de negocio haciéndolos circulares. Este artículo presenta un análisis de la generación del residuo del vidrio y de las oportunidades de modelos de negocio circulares en cadenas de suministro inversas. El vidrio es un material de fácil extracción de la naturaleza y de degradación lenta. Sánchez (2019) señala que, de los residuos generados en el país, en 2019, el 16% fue vidrio, de dicho porcentaje se recicla el 12%. Estos datos hacen pensar en la potencial valorización del vidrio a través de cadenas de suministro inversas y su integración a cadenas de suministro directas. Por ejemplo, las botellas de vidrio pueden rellenarse hasta 25 veces en promedio. De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2019), el Estado de México es el estado con más unidades económicas que valorizan vidrio, así, el análisis considera a las unidades económicas de este estado. El análisis revela oportunidades de valorización del vidrio, sin embargo, las dificultades no son pocas en relación con la consolidación de cadenas de suministro inversas que respalden la valorización y de modelos de negocio circulares.

**Palabras Clave:** Modelos de negocio circulares; vidrio; valorización; cadenas de suministro inversas.

## I. INTRODUCCION

En México, de la composición porcentual promedio de los residuos sólidos generados el 4.73% es vidrio, SEMARNAT (2020). Desafortunadamente, los datos no están desagregados de tal manera que se puedan identificar características particulares de los residuos, en particular del vidrio. El informe sí señala que la mayor cantidad de residuos se genera en la zona centro de México, lo que implica que la generación de residuos está asociada al consumo, es en las ciudades donde se consumen más y en consecuencia se generan también más residuos.

**Dr. Benito Sánchez-Lara**

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México.  
[blara@unam.mx](mailto:blara@unam.mx)

El vidrio es un material inorgánico y amorfo, se le da forma con un proceso que incluye fundición. El uso del vidrio depende de sus características y propiedades físicas, por ejemplo, el vidrio sódico-cálcico es usado en ventanas, el vidrio de plomo es usado para la protección de rayos UV y X y en gafas, y los vidrios de borosilicato y sílice se usan en la fabricación de materiales de laboratorio por su resistencia a cambios de temperatura. El vidrio denominado comercial es el más común de los vidrios.

La composición química determina el tipo de vidrio. La Figura 1 indica la composición de diferentes vidrios en porcentajes de materiales.

Elementos	Sódico— cálcico	Plomo	Borosilicato	Sílice
Sílice	70-75	53-68	73-82	96
Sodio	12-18	5-10	3-10	
Potasio	0-1	1-10	0.4-1	
Calcio	5-14	0-6	0-1	
Plomo		15-40	0-10	
Boro			5-20	3-4
Aluminio	0.5-3	0-2	2-3	
Magnesio	0-4			

**Figura 1.** Composición de los vidrios comerciales.

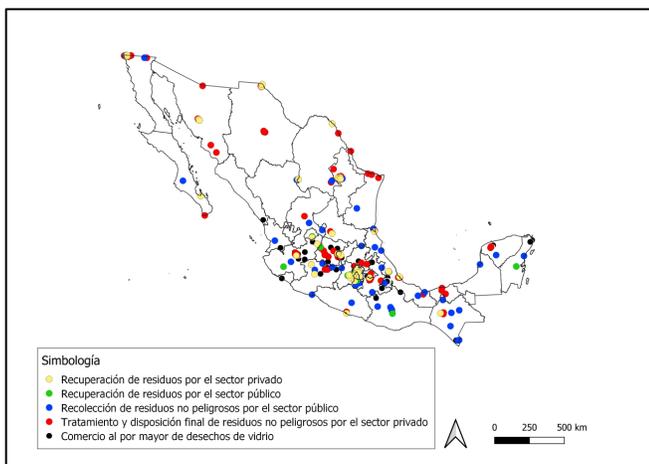
**Fuente:** Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (2021).

Una actividad importante para la valorización de los residuos es la recolección. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social en México el 95.6% de los municipios cuentan con un servicio de recolección. Sin embargo, esta cobertura no es homogénea, pues existen entidades como Oaxaca, el estado con más municipios que es también el estado con más municipios que no cuentan con servicio de recolección, esto es, 3.5% del total nacional INEGI (2013). En ese sentido la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales indica que la mayoría de los municipios tiene servicios de recolección, algunos con mayor cobertura que otros. Los estados con menor cobertura son: Oaxaca con

53%, Chiapas con 58%, Guanajuato con 69% y el Estado de México con 74%, SEMARNAT (2020). Es de resaltar el caso del Estado de México que es la entidad, después de la Ciudad de México, con más vehículos recolectores: 2,479 unidades y a pesar de ello no alcanza a cubrir sus necesidades de recolección. Los estados con mayor cobertura de recolección son: la Ciudad de México, Colima, Baja California Sur, Michoacán, Quintana Roo y Sinaloa. Además de los servicios de recolección, son de importancia en la valorización de los residuos los centros de acopio públicos. Estos centros son instalaciones establecidas y operadas por los gobiernos estatales o municipales para recuperar residuos valorizables a cambio de materiales, enseres o dinero. Los estados con más centros son: Veracruz con 58 centros, Jalisco con 25, Guanajuato con 18 y el Estado de México con 16. De los materiales reciclables recibidos en los centros de acopio públicos 18.46% es vidrio. Por otro lado, respecto de plantas de tratamiento de residuos, las entidades federativas con mayor número de ellas son: la Ciudad de México y el Estado de México con 12 y 7, respectivamente. En las plantas del Estado de México se tratan 60.72 toneladas por día. El residuo de vidrio constituye 8% de los residuos recuperados en las plantas del país. De los residuos reciclados en el país el 13.8% fue vidrio y la cantidad reciclada respecto de la generada representa el 23.5%, INEGI (2013). Así, el vidrio se valoriza más que otros residuos.

Respecto de las unidades económicas que realizan alguna actividad que valoriza el residuo de vidrio, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, las clasifica considerando actividades como: comercio, recuperación, recolección, tratamiento y disposición final, INEGI (2021). También se considera si son unidades públicas o privadas, si la actividad es al por mayor y si el vidrio es peligroso.

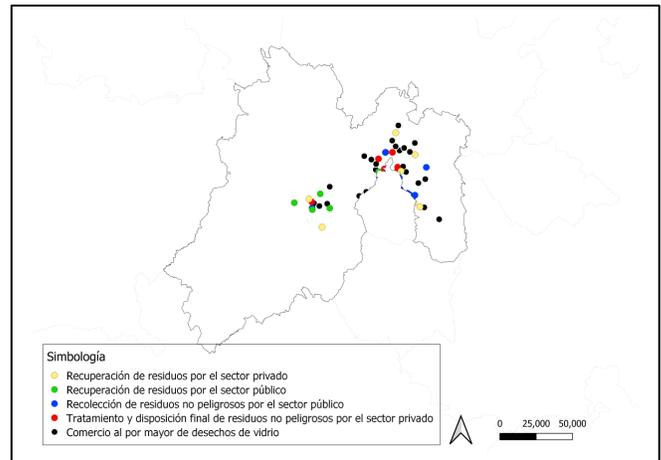
El Mapa 1 muestra las unidades económicas que valorizan vidrio en el país considerando las actividades que realizan de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). El Mapa 2 muestra la ubicación espacial de las unidades económicas en el Estado de México dedicadas a la valorización del vidrio.



**Figura 1.** Unidades económicas que valorizan el vidrio en México.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos del DENUE, 2021.

De los párrafos anteriores, es notorio el potencial de valorización del vidrio. Sin embargo, no es claro qué alternativas existen para ello. Así, el objetivo de este artículo

es realizar un análisis de la generación del vidrio y su valorización, así como recomendar modelos de negocio potenciales.



**Figura 2.** Unidades económicas que valorizan vidrio en el Estado de México.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del DENUE, 2021.

El artículo está estructurado en cinco secciones. En la introducción se presentan los antecedentes y datos relevantes sobre la generación de vidrio y la infraestructura que potencializa su valorización, además de definir al Estado de México como zona de estudio por ser el estado con mayor número de unidades económicas dirigidas a la valorización del vidrio. La segunda sección presenta el marco conceptual útil para recomendar modelos de negocio del vidrio, en particular ideas y definiciones sobre Economía Circular y Modelos de Negocios Circulares (MNC). La tercera sección indica los materiales y métodos utilizados para la colecta y análisis de los datos. La cuarta sección se enfoca en presentar los resultados del análisis y las propuestas de MNC. En la quinta sección se presentan las conclusiones del trabajo.

## II. ECONOMÍA CIRCULAR, CADENAS DE SUMINISTRO INVERSAS Y MODELOS DE NEGOCIO CIRCULARES.

La valorización de los RSU consiste en agregarles valor económico que permita introducirlos en un mercado o en una cadena de suministro directa o inversa. Agregarles valor implica llevar a cabo operaciones logísticas de adquisición y de transporte para recuperar el valor del residuo o de los materiales que lo constituyen. Por supuesto, la valorización no sólo debe entenderse desde una dimensión económica dado que también tiene repercusiones sociales y ambientales. En este artículo la valorización de vidrio se enmarca con tres ideas: Economía Circular (EC), Cadenas de Suministro Inversa (CSI) y Modelos de Negocio Circulares (MNC).

Enmarcar la valorización del vidrio en la idea de Economía Circular permite entender su contribución, aunque sea marginal, al cambio de paradigma económico y productivo que en forma incipiente está tomando forma en el mundo y en el país. Por otra parte, la valorización se lleva a cabo en eslabones que constituyen una CSI, esto es, los residuos obtienen valor a partir de las operaciones logísticas que se realizan en los diferentes eslabones. Los MNC, por su lado, son los esquemas empresariales útiles para favorecer la valorización, puntualmente, la magnitud del valor que se

agrega. En los párrafos siguientes se hace una descripción detallada de cada una de las ideas señaladas.

El término Economía Circular, de acuerdo con la Ellen MacArthur Foundation (2015), es un modelo económico con propósitos de restauración y regeneración, que impulsa que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valores máximos. Es un modelo que distingue entre ciclos técnicos y biológicos y que trata de desvincular el desarrollo económico del consumo de recursos finitos. Sin embargo, EC es todavía un concepto que requiere operacionalizarse en los planes de negocio de las empresas, para permear en la gestión de cambio, tecnología, desarrollo, innovación, emprendimiento, cambios en estrategias y preferencias de compra.

Algunos rasgos de la llamada EC son:

- La búsqueda del máximo provecho de los recursos empleados en los sistemas productivos a partir primordialmente de marcos R (reusar, reducir, reciclar, remanufacturar, reparar, recuperar, etc.),
- La identificación y establecimiento de ciclos técnicos y biológicos para extender el uso y aprovechamiento de los recursos, y
- Ser parte de un cambio de paradigma hacia la valorización del residuo.

De estos rasgos, el artículo se enfoca en el empleo de los marcos R, con esto se operacionaliza la EC. Identificar los marcos R que usan las empresas que valorizan vidrio es el punto de partida para proponer MNC que mejoren su valorización.

Potting et al. (2017) proponen tres niveles de circularidad con relación al marco R. Esto es, de acuerdo con las prácticas R que se aplican a un residuo valorizable, hay tres niveles de circularidad: uso y fabricación inteligente de productos, extensión de la vida del producto y aplicación útil de los materiales. El nivel más alto de circularidad es el primero de los señalados. La Figura 3 muestra los niveles de circularidad y las prácticas del marco R.

### Cadenas de Suministros Inversas

Los agentes y los procesos que permiten recuperar materiales de una cadena de suministros, cuando el producto es defectuoso o cuando se convierte en un residuo, son eslabones de una CSI. López-Parada (2017) señala que si un producto se recicla se incorpora a una cadena de suministros como materia prima, así se extiende el ciclo de vida del producto y se reduce el volumen de desecho, esto constituye un circuito cerrado.

Economía circular	Uso y fabricación inteligente de productos	R0 Rechazo	Rechazo de un producto con un viejo diseño que puede ser reemplazado por que cumpla las mismas funciones.
		R1 Repensar	Repensar un producto para que su ciclo de uso sea más largo o se pueda usar constantemente.
		R2 Reducir	Reducir el consumo de recursos naturales y materiales en la producción.
Economía circular	Extensión de la vida útil del producto	R3 Reusar	Reusar los productos que han sido descartados y que aún son funcionales.
		R4 Reparar	Reparar un producto con algún defecto que aún puede cumplir sus funciones iniciales.
		R5 Restaurar	Restaurar y actualizar un equipo obsoleto.
		R6 Remanufacturar	Remanufacturar las partes de un producto en la fabricación de otro con las mismas funciones.
		R7 Reutilizar	Reutilizar las partes de un producto en la fabricación de otro con las diferentes funciones del inicial.
Economía lineal	Aplicación útil de los materiales	R8 Reciclar	Reciclar los materiales de un producto para ser nuevamente manufacturados.
		R9 Recuperar	Recuperar energía de los materiales al ser incinerados.

Figura 3. Circularidad y prácticas del marco R. Fuente: Potting, J., et al. (2017).

La Figura 4 ilustra una cadena de suministro de ciclo cerrado que incluye a las CSI y a la logística inversa. Para López-Parada (2017), algunas de las actividades incluidas en las CSI son: adquisición, transportación, inspección, manipulación, distribución, almacenamiento y comercialización. Es notorio que las actividades señaladas son las mismas que se realizan en cadenas de suministro directas, pero se realizan sobre residuos y no sobre productos y las realizan otros agentes económicos, estos agentes son eslabones de la CSI.

Los procesos de las CSI respaldan la valorización de los residuos, como se mencionó, las CSI están enfocadas en asignarle un valor económico a un residuo. En este sentido, la Norma Ambiental para el Distrito Federal, NADF-024-AMBT-2013, define a la valorización en términos de las acciones que permiten recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos.

El marco R sumado a la idea de CSI permite señalar dónde, qué eslabón o eslabones, se agrega más o menos valor. Con una perspectiva de CSI se gana una visión comprensiva de la valorización, no sólo asociándola a una práctica empresarial, en este caso del marco R, además asociándola a una industria, sector o ramo, región, etc., es decir, ubicándola en un contexto determinado.

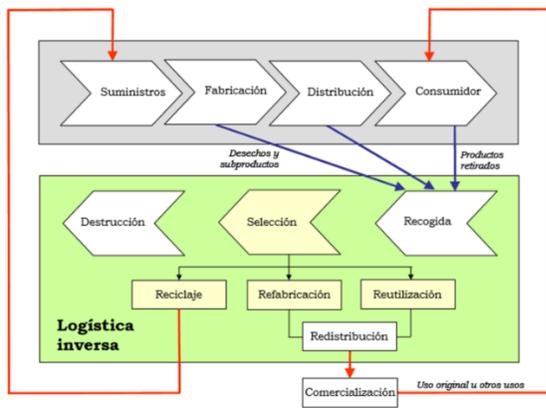


Figura 4. El circuito cerrado de la cadena de suministro.  
Fuente: López-Parada (2017).

### Modelos de negocio circulares

Los modelos circulares y regenerativos aplicados a empresas y modelos productivos buscan optimizar las operaciones sobre residuos, desperdicios, retornos, etc., agregando así valor económico. Los MNC se basan en la idea de Economía Circular. La creación de valor en los MNC puede centrarse en ampliar la duración de los recursos, mercados líquidos, cadenas de valor interconectadas y ciclos de vida ampliados. También es de considerar, como lo señala Rifkin, J. (2015), la implementación de tecnologías e internet en el ámbito de la logística: sensores conectados a los recursos naturales a las líneas de producción, la red eléctrica, flujos de reciclaje en hogares, oficinas, tiendas y vehículos. Con el uso de la tecnología se busca mejorar la eficiencia y la productividad y así reducir el costo marginal de producción.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS.

Este trabajo forma parte de una investigación basada en evidencia empírica, que implica adquirir conocimiento mediante el registro de experiencias directas e indirectas. Es parte de una investigación amplia sobre la valorización de RSU en CSI.

Para la identificación de las unidades económicas asociadas a la valorización del vidrio se consultó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). La búsqueda en el DENUE se facilitó utilizando el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) que categoriza las diferentes actividades económicas. Las unidades económicas se agruparon y asociaron a alguno de los eslabones de la cadena de suministros del vidrio: abastecimiento, fabricación, distribución, venta y manejo de residuos. Esta asociación permite tener en mente el potencial en la conformación de una cadena de suministro circular.

De acuerdo con el DENUE (2021), el Estado de México es el estado con más unidades económicas que valorizan vidrio, así el análisis consideró las unidades económicas ubicadas en ese estado. El número de unidades económicas identificadas en el Estado de México es de 48.

El Estado de México está dividido en 4606 Áreas Geoestadísticas Básicas [AGEB]. Una AGEB constituye la unidad básica del marco geoestadístico empleado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), su perímetro está definido por calles, avenidas, brechas y, en

ocasiones, por rasgos físicos naturales y/o culturales, normalmente reconocibles y perdurables en el terreno (INEGI, 2018).

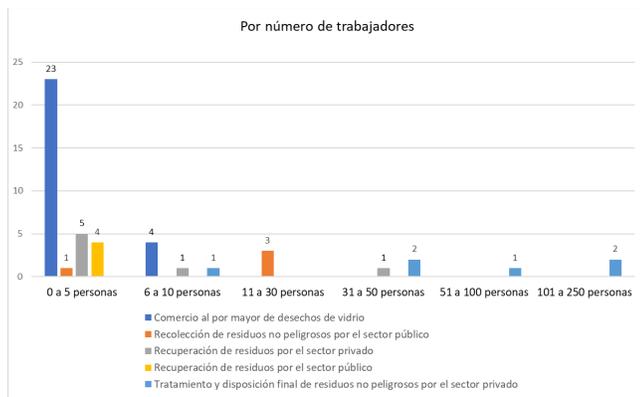
El análisis tiene elementos de distribución espacial. La distribución espacial considera que un conjunto de entidades del mismo tipo tiene un comportamiento espacial concentrado o distribuido, su patrón podría ser aleatorio, disperso o regular. El análisis espacial se realizó con el software QGIS versión 3.10. A consecuencia de la pandemia por la COVID-19 no fue posible realizar visitas de corroboración a las unidades económicas.

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto de la CSI que valoriza residuos de vidrio a continuación se ofrecen los siguientes resultados. De las unidades económicas identificadas en la valorización del vidrio en el Estado de México, la mayoría tienen como giro primordial el *comercio al por mayor* de los desechos del vidrio. El 12.3% se dedican al tratamiento de residuos no peligrosos donde se ubica el vidrio, el resto a la recuperación y recolección. Este dato es significativo, se infiere que dado que el tratamiento y reciclado del vidrio es costoso son pocas las empresas dedicadas a ello.

Acorde con lo señalado por Hernández-González et al. (2020) no hay en México entidades donde se haya empresas que constituyan todos los eslabones de una cadena de suministros inversa. La Ciudad de México, Jalisco y Puebla son las entidades donde se puede decir que existen la mayoría de los eslabones, sólo en el Estado de México se identificaron todos ellos. Este dato implica que la generación de residuo de vidrio es tal que detona el desarrollo de actividades asociadas a su valorización. Podría decirse que en el Estado de México hay una CSI que valoriza residuos de vidrio, dado que los eslabones están presentes. La Figura 5 muestra el número de unidades económicas que valorizan el vidrio por número de trabajadores y giro de actividad.

Desde un enfoque de cadena de suministros, es notorio que hay más eslabones acopiadores de residuo que eslabones transformadores. Las unidades económicas que acopian y comercializan son micro y pequeñas empresas, son las de mayor número. Por el contrario, son empresas medianas las que realizan procesos de transformación al residuo. Este patrón es consistente con otras CSI: son más las empresas que acopian, son micro y pequeñas, más informales que formales, son muy pocas las empresas que transforman, medianas y grandes, todas formales. No hay datos precisos respecto de la cantidad de vidrio que valorizan las unidades económicas. Las plantas de transformación del vidrio, siendo los eslabones que agregan más valor, no reciben la cantidad que se acopia y menos la que se genera. Los centros de acopio, en general, son unidades económicas informales y por lo tanto no registradas, lo que impide tener datos verificables de la cantidad que reciben. La falta de información hace difícil bosquejar la estructura de la CSI del residuo de vidrio.



**Figura 5.** Unidades económicas que valorizan el vidrio en el Estado de México por número de trabajadores y giro de actividad.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos del DENUE, 2021.

Las unidades económicas de la CSI del vidrio dedicadas al comercio al por mayor son las de mayor número, son empresas eslabón anterior a la manufactura. Para el caso del vidrio se incluyen empresas que comercian para el reciclaje, no se considera a aquellas que recuperan y clasifican. Estos datos no toman en cuenta a agentes, sobre todo privados, informales, personas o microempresas, que colectan el residuo de vidrio de los generadores para llevarlo a centros de acopio con cierta capacidad de almacenamiento temporal que les permite consolidar la carga antes de transportarla a empresas transformadoras.

Respecto de los MNC potenciales, considerando que las unidades económicas de la CSI del vidrio de mayor número son las dedicadas a su acopio y posterior comercialización, los MNC deberían considerar como sus ejes a la aplicación útil de los materiales y la extensión de la vida útil del producto. No se considera que haya condiciones de generación y manejo de materiales para pensar en MNC con eje en la extensión de la vida útil del producto. Sólo para ilustrar las oportunidades de los MNC, considérese que una botella de vidrio puede rellenarse muchas veces dependiendo de las características y composición química del vidrio, incorporándose así a la fabricación, distribución y venta.

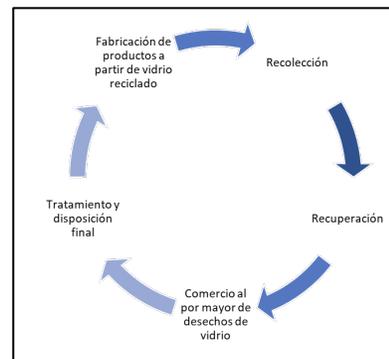
Un MNC basado en una cadena de valor interconectada considera una o muchas redes logísticas por las que fluye el vidrio ganando valor. Esto ya está pasando para el caso del vidrio, sin embargo, se puede decir que es un flujo lineal. La Figura 6 lo ilustra.



**Figura 6.** Eslabones de la CSI del vidrio.  
**Fuente:** Elaboración propia

La CSI empieza con la colecta desde los generadores y termina en las empresas transformadoras. Mejorar la circularidad del modelo de negocio, implicaría ciclos de vida ampliados, esto es, bucles de realimentación entre los diferentes eslabones de tal suerte que los residuos, desechos o desperdicios de un eslabón se reincorporaran a ese mismo eslabón o a otros. La Figura 7 muestra un bosquejo de la CSI

que valoriza el vidrio y cómo se retroalimenta el ciclo productivo.



**Figura 7.** Eslabones de la CSI del vidrio y retroalimentación.  
**Fuente:** Elaboración propia

Considerando como marco los datos de las unidades económicas dedicadas a la valorización del vidrio y las prácticas del marco R que prevalecen como actividad principal de las unidades económicas (recolección, recuperación y reutilización), tendrían que impulsarse MNC basados en el aumento de vida útil del vidrio y en repensar desde el origen el diseño de los productos, la idea se sustenta en que el tratamiento del residuo es costoso y requiere procesos altamente tecnificados para su realización.

## V. CONCLUSIONES

El presente trabajo es un estudio exploratorio basado en la revisión de datos sobre unidades económicas dedicadas a la valorización del vidrio. Se presenta los avances de un estudio de investigación. Permite señalar e identificar MNC con potencia y el bosquejo de la CSI en el Estado de México. El Estado de México es una de la zona que estadísticamente genera la mayor cantidad de residuos de vidrio, contiene en su territorio los eslabones para conformar una CSI, y es cercana a la Ciudad de México que es la mayor generadora del residuo.

La red logística que se bosqueja es similar a otras redes de residuos sólidos urbanos, esto es, son muchos eslabones los pequeños colectores y contados los eslabones transformadores. El valor agregado al residuo del vidrio se distribuye de forma análoga a la red logística, muchos aportan poco y pocos aportan mucho. El valor agregado está asociada al manejo del material y a la cantidad que se maneja, los procesos involucrados para ser viables económicamente requieren grandes cantidades e inversiones. Los colectores son fundamentales en la constitución de la CSI, realizan las operaciones logísticas de adquisición y transporte. Estas operaciones, por un lado, permiten la incorporación del residuo a la CSI y su reinscripción a cadenas productivas.

Las prácticas circulares son acciones que abonan a la EC, pero que implican realizar modificaciones en su operación. Se reconoce que se trata de acciones muy focalizadas, en particular en empresas, sin embargo, su importancia no radica en su impacto por sí solas, sino en conjunto en la construcción de un sistema económico circular, fomentando que cada vez más empresas se sumen.

El residuo de vidrio, comparativamente con otros, se genera y recupera en menores cantidades, sin embargo, por

su vida útil es muy conveniente considerarlo para constituir modelos de negocio. Sus características fisicoquímicas lo hacen un residuo que vale mucho la pena valorizar, su

## REFERENCIAS.

1. El Financiero (2019) Vidrio, el residuo ‘olvidado’ en el proceso de reciclaje en México. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/vidrio-el-residuo-olvidado-en-el-proceso-de-reciclaje-en-mexico>
2. Ellen MacArthur Foundation, EMF (2015). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada. Recuperado de: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf).
3. Gómez-Maturano, J. y Sánchez-Lara, B. (2018) Procedimiento para caracterizar Cadenas de Suministro Inversas que valorizan Residuos Sólidos Urbanos. Memorias Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2018), Ciudad de México, Octubre 10-12. ISBN 978-607-96403-1-6. pp. 61-70.
4. Hernandez-González, M., Elizondo-Cortés, M., Diego-Villegas, L. y Sánchez-Lara, B. (2020) Prácticas circulares en cadenas de suministro industriales: oportunidades y desafíos. Memorias Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2020), Octubre.
5. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (2021) Tipos de vidrio. Recuperado de: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec\\_5.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_5.html)
6. INEGI (2007). Clasificación para Actividades Económicas. <https://www.inegi.org.mx>
7. INEGI (2013). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 (CNGMD). México.
8. INEGI (2018). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017: Marco Conceptual. México. Recuperado el 22 de abril de 2021 de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825079536.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825079536.pdf)
9. INEGI. (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado el 19 de noviembre de 2020 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>.
10. López-Parada, J. (2010) Tesis. Incorporación de logística inversa en la cadena de suministro y su influencia en la estructura organizativa de las empresas. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. Recuperado de: [http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1493/03.JLP\\_3de10.pdf;sequence=4](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1493/03.JLP_3de10.pdf;sequence=4)
11. Norma Ambiental NADF-024-AMBT-2015, Secretaría del Medio Ambiente, Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 08 de julio de 2015.
12. Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain (No. 2544). PBL Publishers.
13. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2020. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

**La sobrevivencia de las nanostores ¿cómo lo logran?:  
estudio empírico con evidencia del municipio  
de Nezahualcoyótl**

*The survival of nanostores, how do they achieve it?:  
a empirical study*

Edgar Perrusquía-Castro, Benito Sánchez-Lara

# La sobrevivencia de las nanostores ¿cómo lo logran?: estudio empírico con evidencia del municipio de Nezahualcóyotl

Ing. Edgar Perrusquía-Castro  
Departamento de Ingeniería de  
Sistemas, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma  
de México  
Ciudad de México, México.  
[edgar.perrusquia@gmail.com](mailto:edgar.perrusquia@gmail.com)

Dr. Benito Sánchez-Lara  
Departamento de Ingeniería de  
Sistemas, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma  
de México  
Ciudad de México, México.  
[blara@unam.mx](mailto:blara@unam.mx)

**Abstract:** *The nanostores are the last link in the fast-moving consumer goods (FMCG) supply chain. These business units are, mostly, family-owned, and micro-businesses with a sales floor of less than 50 m<sup>2</sup>. At Mexico they are called as changarros, little stores, neighborhood stores, proximity stores and small independent retailers. It is hard to precisely determine the number of Nanostores because they are sometimes not part of the formal economy. In 2020, the National Institute of Statistics and Geography (INEGI) counted 604,880 business units that coincide with the characteristics of the nanostores. For identification, the North American Industrial Classification System (SCIAN, Mexico) was used. One of the relevant problems of nanostores is their mortality, 33.70% of these have been operating for less than two years (INEGI, 2020a). The objective of this article is to present the findings of the qualitative and quantitative analysis of the nanostores located in the municipality of Nezahualcóyotl, State of Mexico, in particular, the analysis of characteristic attributes that are associated with their survival. The municipality of Nezahualcóyotl is the municipality with the highest population density, 17,555.5 people per km<sup>2</sup> (INEGI, 2021), which implies proliferation of nanostores to meet the demand of FMCG.*

**Keywords:** *nanostores, little stores, FMCG, urban supply chains, survival.*

**Resumen:** *El último eslabón de la cadena de suministro de las mercancías de consumo de rápido movimiento (FMCG - Fast Moving Consumer Goods) son las nanostores. Estas son unidades de negocio, mayormente familiares y microempresas con un piso de venta menor a 50 m<sup>2</sup>. En México son conocidas como changarros, tienditas, tiendas de barrio, tiendas de proximidad y pequeños detallistas independientes. Es difícil determinar con precisión el número de Nanostores debido a que en ocasiones no son parte de la economía formal. En 2020 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) contabilizó 604,880 unidades de negocio que coinciden con las características de las nanostores. Para la identificación de las unidades económicas se utilizó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN, México). Uno de los problemas relevantes de las nanostores es su mortandad,*

*el 33.70% de estas tienen operando menos de dos años (INEGI, 2020a). El objetivo de este artículo es presentar los hallazgos del análisis cualitativo y cuantitativo de las nanostores ubicadas en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, en particular, el análisis de atributos característicos y que se asocian con su sobrevivencia. El municipio de Nezahualcóyotl es el municipio con mayor densidad poblacional, 17,555.5 hab/km<sup>2</sup> (INEGI, 2021), lo que implica la proliferación de nanostores para satisfacer las necesidades de FMCG.*

**Palabras Clave:** *nanostores, tienditas, FMCG, logística urbana, sobrevivencia.*

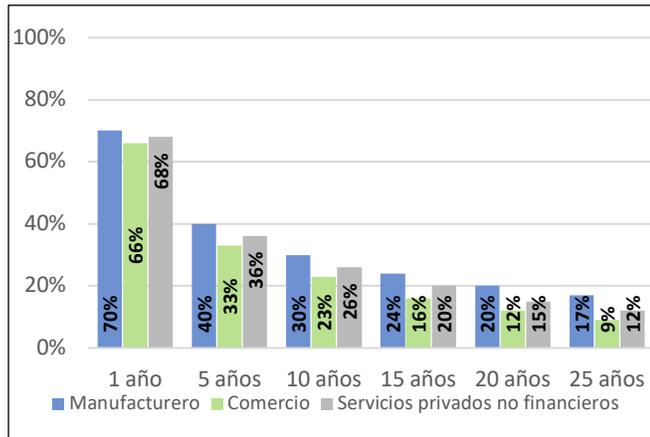
## I. INTRODUCCION

El término *nanostore* intenta reflejar las siguientes denominaciones de las unidades de negocio en las que está interesado este artículo: *tiendita de la esquina, tiendita y changarro*. De acuerdo con Soto-Peredo et al., (2019) las nanostores son negocios familiares que cuentan con un piso de venta menor a 50 m<sup>2</sup>, que comercializan mercancías de consumo de rápido movimiento (Fast Moving Consumer Goods - FMCG) y cuya diversidad de productos es de unos cuantos cientos, incluyendo: alimentos, bebidas, cuidado personal, productos para el hogar y de limpieza, ropa y calzado, tabaco y productos para el cuidado de mascotas; el abasto lo realizan con proveedores o distribuidores directos, sus clientes son vecinos que realizan varias visitas o compras en un mismo día.

Es difícil determinar con precisión el número de nanostores en un momento o periodo debido principalmente a dos factores. El primero está relacionado con el hecho de que muchas de ellas no son parte de la economía formal y no se registran. De acuerdo con datos del INEGI (2019) en 2018 la economía informal representó el 22.5% del producto interno bruto, esto es, 5,001,310 millones de pesos. Para 2019 la economía informal creció a 23% equivalente a 5,285,722 millones de pesos. Este dato sugiere que muchas nanostores informales nacen y mueren en periodos cortos y no se alcanza

a registrarlas en los sistemas de información económica. El segundo factor está relacionado con la *sobrevivencia*. El INEGI (2015) define este término en la Demografía Económica como la permanencia de una unidad de negocio hasta su desaparición.

De acuerdo con datos del INEGI (2017), véase la Figura 1, en México el 33% de las unidades de negocio del sector comercial, sector al que pertenecen las nanostores, sobrevive hasta 5 años posteriores al inicio de operaciones.



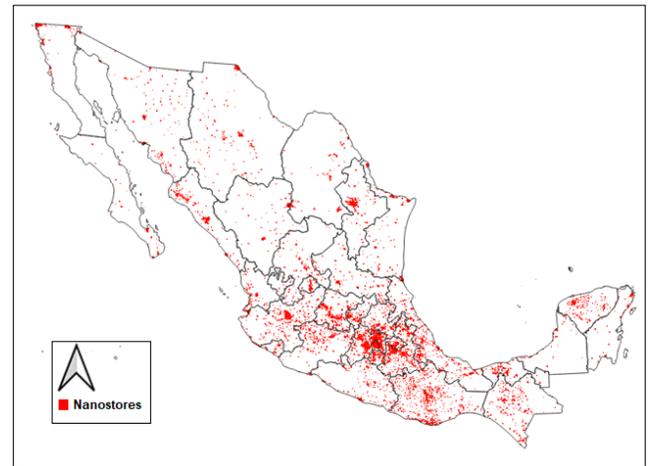
**Figura 1.** Porcentaje de negocios sobrevivientes en el tiempo por sector económico.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del INEGI (2017).

NIELSEN (2013) estimó que en México había 700,000 unidades de negocio similares a las nanostores, mientras que el INEGI (2020a) registró en 2020 en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 604,880 unidades económicas que coinciden con las características de las nanostores, acorde con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN, México), en particular del código de actividad 461110 que se refiere al denominado: *Comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas*. Los ultramarinos se refieren a las tiendas de abarrotes que venden principalmente productos alimenticios a granel y las misceláneas son tiendas de abarrotes con cierto equipamiento.

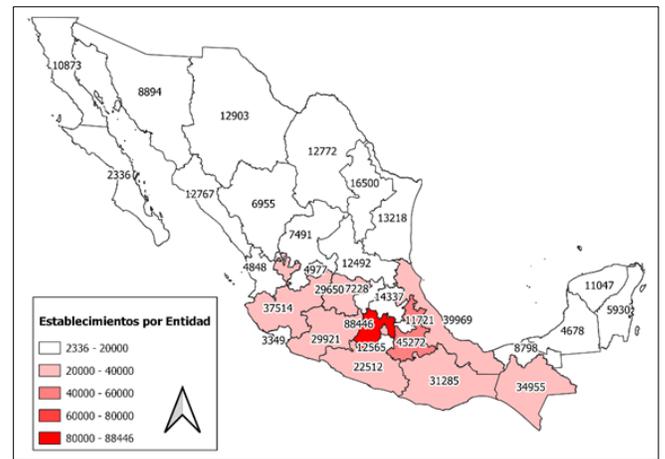
Las cinco entidades federativas con mayor número de nanostores son: Estado de México con 88,446; Puebla con 45,772, Veracruz, con 39,960; Ciudad de México, con 37,994 y Jalisco, con 37,551 unidades de negocio. El Mapa 1 muestra la distribución espacial de las nanostores, es notoria su concentración en el centro del país. El Mapa 2 señala el número de nanostores por entidad federativa y denota los estados que concentran más de ellas.

Las nanostores tienen diferentes roles y funciones económicas, entre ellos: son agentes importantes en la distribución urbana de mercancías, contribuyen en la actividad económica y generan empleos directos e indirectos. En México 99% de las nanostores emplean directamente de 0 a 5 personas (INEGI, 2020a).



**Mapa 1.** Distribución espacial de las nanostores en México.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del DENUE 2020.



**Mapa 2.** Número de Nanostores por Entidad Federativa.

**Fuente:** Elaboración propia con datos del DENUE 2020.

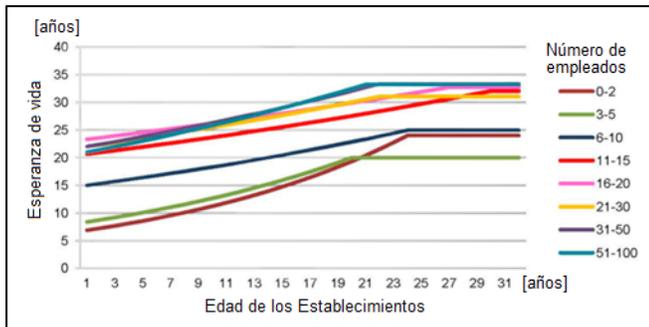
Tratando de aportar al entendimiento de las nanostores y de su relación con su entorno inmediato, con énfasis en cómo ese entorno favorece su sobrevivencia, el propósito de este artículo es presentar los hallazgos de un análisis sobre nanostores ubicadas en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México. Los avances que se presentan corresponden a la caracterización de las nanostores ubicadas en la zona de estudio. El municipio de Nezahualcóyotl se localiza al oriente de la Ciudad de México, es uno de los 125 municipios del Estado de México, la entidad con mayor número de nanostores en el país. Además, posee una población de 1,109,363 habitantes y una superficie de 63.74 km<sup>2</sup>, la densidad de población más alta del país, 17,555.5 hab./km<sup>2</sup>. El municipio está seccionado en 178 AGEB donde se ubican 5,620 nanostores.

El artículo está constituido por cinco secciones. La sección introductoria presenta datos de la distribución espacial de las nanostores en México y del comportamiento de su número en el tiempo que se asocia a su sobrevivencia. La segunda sección enmarca el análisis que ofrece el artículo, sobrevivencia, el término alrededor del que se elabora el análisis. La tercera sección de métodos y materiales explica la colecta y análisis de los datos para la caracterización de las nanostores de la

zona de estudio. La cuarta sección se centra en los resultados y su discusión, además de algunos hallazgos. Finalmente, se ofrece un conjunto de conclusiones.

## II. SOBREVIVENCIA DE LAS NANOSTORES.

El término sobrevivencia se refiere al periodo en que operan las unidades económicas. Para registrar su sobrevivencia el INEGI (2015) desarrolló una metodología basada en las similitudes entre los fenómenos demográficos, de las poblaciones humanas, y aquellos eventos de los establecimientos desde su creación hasta su muerte. Los resultados relevantes asociados con las nanostores son dos: 1) la sobrevivencia tiene comportamientos distintos según la actividad económica que realizan los establecimientos, son los del sector comercio los que tienen menor expectativa de vida, y 2) considerando el número de personas empleadas, los establecimientos pequeños mueren más rápido que los considerados grandes. La Figura 2 muestra que la esperanza de vida al nacer de los establecimientos pequeños, con 5 trabajadores o menos, es la mitad de la esperanza del siguiente tamaño de negocio, también se observa que este indicador tiene valores similares para negocios con 11 ó más personas empleadas.



**Figura 2.** Esperanza de vida por tamaño de establecimiento definido por personas empleadas (0 a 100 personas empleadas).

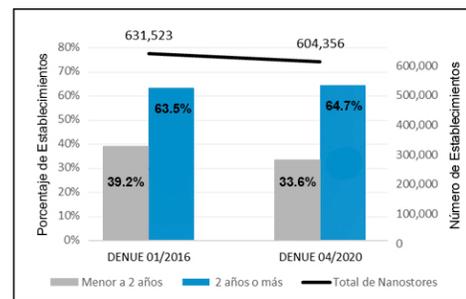
**Fuente:** Tomado de INEGI (2015).

Al igual que otros establecimientos las nanostores una vez que empiezan a operar, nacen, enfrentan un periodo difícil llamado *valle de la muerte*, este término se refiere a la dificultad que enfrentan para cubrir el flujo de caja negativo desde su nacimiento y hasta que se consolidan como negocios (Zwilling 2013). En particular, el término se refiere a la deuda (balance general negativo) que adquieren al iniciar sus operaciones.

De acuerdo con el INEGI (2020a), el tiempo promedio de vida de las unidades de negocio con las características de las nanostores es de 6.83 años, una de cada tres sobrevive más de 2 años. La sobrevivencia de las unidades de negocio con menos de 2 años de operación se muestra en la Figura 3. Se compara las unidades registradas en 2016 y 2020.

D'Andrea et al. (2006b) indican que uno de los varios y diversos factores que contribuye a la sobrevivencia de las nanostores es que operan con costos operativos reducidos en comparación con otras unidades de negocio; ahorran principalmente en los siguientes rubros:

- Mano de obra. La mayoría de los empleados son miembros de la familia y reciben salarios que cubren el apoyo en la operación de la nanostores.
- Energía. Generalmente no cuentan con acondicionadores de aire y/o congeladores de gran tamaño. Además, la iluminación es baja.
- Gastos generales. Entre ellos: servicios de seguridad, limpieza y marketing.
- Alquiler. Los dueños de las nanostores son propietarios del local donde operan, puede ser un local independiente o un local junto o en la propia residencia del dueño. Para quienes alquilan un local los precios de la renta suelen ser bajos, si los locales se ubican en zonas de ingresos bajos.



**Figura 3.** Establecimientos con tiempo de vida menor a 2 años. **Fuente:** Tomado de INEGI (2020a).

Soto-Peredo et al. (2019), recopilan las siguientes fortalezas de las nanostores para la atracción de clientes: 1) el Precio, 2) Experiencia de compra y 3) Proximidad. Otro factor documentado que contribuye a la sobrevivencia de las nanostores es la fidelidad de sus clientes. Ya que los dueños crean relaciones personales con sus clientes, como resultado de un historial de interacciones y experiencias positivas. Por otra parte los clientes adquieren un sentido de familiaridad y pertenencia.

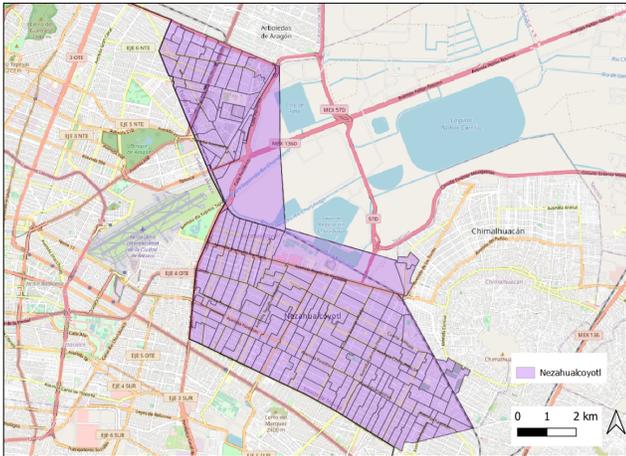
Un factor adverso a la sobrevivencia es la falta de liquidez, ocasionada por los créditos informales a los clientes habituales. El crédito es percibido como una extensión de la relación personal entre el cliente y el dueño de la nanostore y no una transacción o servicio (Boulaksil, 2017).

## III. MATERIALES Y MÉTODOS.

Este trabajo es una investigación basada en evidencia empírica que implica adquirir conocimiento mediante el registro de experiencias directas e indirectas. Es parte de una investigación más amplia sobre las nanostores y la distribución urbana de mercancías.

La zona de estudio considerada fue el municipio de Netzahualcóyotl. Este municipio está dividido en 178 Áreas Geoestadísticas Básicas [AGEB]. Una AGEB constituye la unidad básica del marco geoestadístico empleado por el INEGI, su perímetro está definido por calles, avenidas, brechas y, en ocasiones, por rasgos físicos naturales y/o culturales, normalmente reconocibles y perdurables en el terreno (INEGI, 2018). Netzahualcóyotl es el municipio con la mayor densidad poblacional en 2021; 17,555.5 habitantes

por km<sup>2</sup> (INEGI, 2021). El Mapa 3 muestra la zona de estudio.



**Mapa 3.** Municipio de Nezahualcóyotl y sus AGEBS.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos del INEGI 2020a.

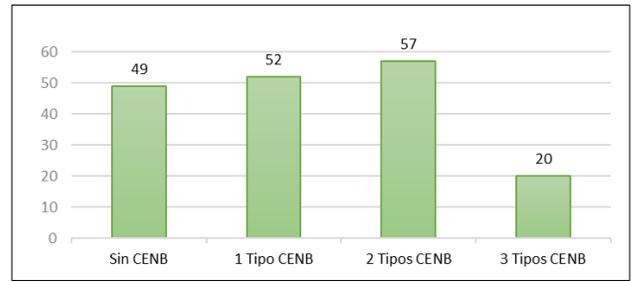
Este estudio tiene principalmente elementos de distribución espacial. La distribución espacial considera que un conjunto de entidades del mismo tipo tiene un comportamiento espacial concentrado o distribuido, su patrón puede ser aleatorio, disperso o regular. En este trabajo la ubicación espacial de las nanostores son las entidades estudiadas. El análisis espacial se realizó con el software QGIS versión 3.15.

Los datos públicos de las nanostores se obtuvieron a partir del procesamiento de datos del Directorio Nacional de Unidades Económicas 11/2020 (DENUE). La búsqueda en el DENUE se facilitó utilizando el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte que categoriza las diferentes actividades económicas. Este directorio incluye la clasificación de la actividad económica, el nombre, la ubicación y el tamaño de la mano de obra, entre otros datos de las unidades económicas activas en México.

Como se expuso, los clientes de las nanostores son en su gran mayoría vecinos de estas. Así, en general, su mercado es fijo y depende de la demografía de su entorno y ubicación. A este mercado fijo debe sumarse un mercado flotante constituido por personas que pasan por la zona o que visitan la zona para realizar algunas actividades cotidianas, entre ellas: asistir a la escuela, al trabajo y visitar a familiares o amigos. Los clientes flotantes para muchas nanostores son determinantes en su sobrevivencia, sobre todo para aquellas cercanas a escuelas y los edificios de oficinas.

Este estudio consideró como ventana de oportunidad la restricción de movilidad provocada por la COVID-19, lo que redujo la cantidad de clientes flotantes, en particular aquellos que realizan viajes a las escuelas y que en su viaje de ida o de vuelta adquieren productos en las nanostores cercanas. El levantamiento de información *in situ* se realizó en nanostores aledañas a escuelas de nivel básico, específicamente en AGEB con la oferta educativa de nivel básico completa, es

decir, preescolar, primaria y secundaria. Se consideraron en total 120 nanostores de 20 AGEB, que cumplieran con el criterio mencionado, ver la Figura 4.



**Figura 4.** Número de AGEB con presencia de centros educativos nivel básico completo (CENB), en Nezahualcóyotl.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>).

Se desarrolló un cuestionario para conocer las opiniones de los clientes de las nanostores entorno a los siguientes aspectos:

1. Lo adecuado del precio de los productos.
2. El trato hacia los clientes.
3. La atención en tiempo razonable.
4. La afectación de restricciones físicas a los productos: rejas, mamparas, vitrinas, etc.
5. El Equipo con el que cuenta.
6. La variedad de productos y presentaciones.
7. El horario de atención respecto de las necesidades de los clientes.
8. Si las nanostores aledañas venden los mismos productos.
9. En horario adecuado para los clientes.
10. Qué valora el cliente de la nanostore.
11. Por qué la preferencia hacia la nanostore.
12. Datos de ubicación: colonia y código postal.

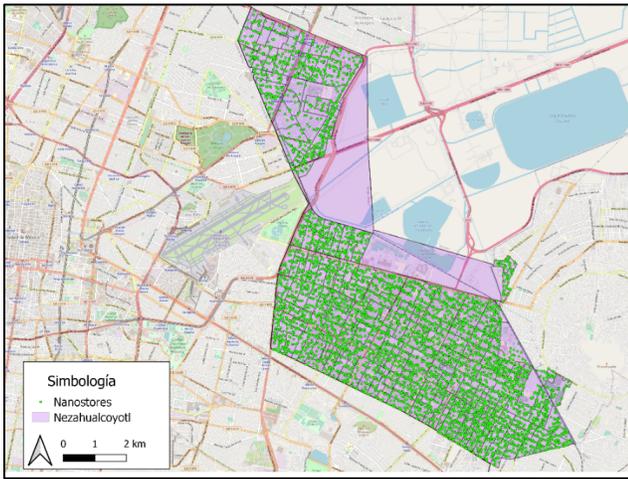
El acceso al cuestionario por parte de los clientes fue a través de un código QR que se colocó en espacios disponible de las nanostores<sup>1</sup>; se obtuvieron 40 respuestas.

Para la colecta de información de los responsables de las nanostores, se empleó un cuestionario con 2 partes, una sobre la opinión del encargado y otra sobre información de la unidad de negocio. Los cuestionarios fueron contestados por la persona que estaba atendiendo la unidad de negocio al momento de la visita<sup>2</sup>.

En la zona de estudio se ubicaron 5620 nanostores con el código de actividad 461110, que se refiere al denominado: *Comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas*. El Mapa 4 muestra la distribución espacial de las nanostores en la zona de estudio.

<sup>1</sup> Cuestionario disponible en: <https://forms.gle/Fd2qtdvfWrVwHf6fA>

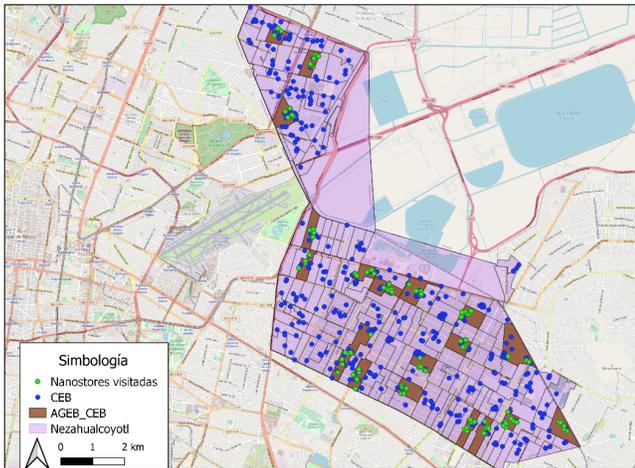
<sup>2</sup> En el apartado de Anexos se incluye el cuestionario dirigido a los dueños de nanostores.



**Mapa 4.** Distribución espacial de nanostores en el municipio de Nezahualcóyotl.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>)

Asimismo, se ubicaron las 20 AGEB de la zona de estudio que cuentan con una oferta educativa de nivel básico completa, así como las nanostores en torno a dichos centros educativos. Tal y como puede apreciarse en el mapa 5.

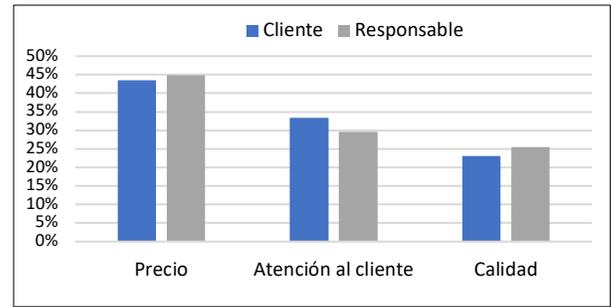


**Mapa 5.** AGEB con oferta educativa completa.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>)

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

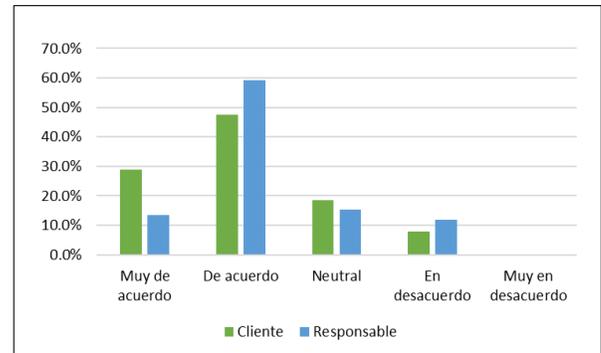
De las visitas realizadas y de los cuestionarios, contrastando las opiniones de clientes y de dueños-encargados de nanostores, el *Precio* de los productos tiene mayor importancia en contraste de la *Atención al cliente* y de la *Calidad* de los productos. La Figura 5 muestra estos resultados en términos del porcentaje de respuesta.



**Figura 5.** Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿Qué valoran los clientes de las nanostores?

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto de la *Variedad* de los productos, las respuestas la consideran adecuada. Lo anterior es consistente, si consideramos que las nanostores distribuyen, en general, los llamados FMCG y a partir de las visitas se constató que de 24 productos denominados como FMCG en promedio las nanostores tuvieron 22 disponibles. *Vinos y licores* es la categoría con menor presencia, se venden en el 56% de las nanostores visitadas. La Figura 6 muestra las respuestas respecto de la variedad de productos considerando a clientes y dueños-encargados.

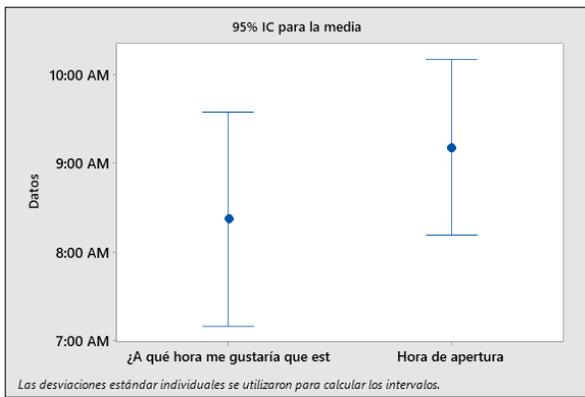


**Figura 6.** Distribución de las respuestas a la afirmación: La variedad de productos y presentaciones es adecuada.

**Fuente:** Elaboración propia.

Una de las prácticas que se repite en las nanostores es la colocación de restricciones físicas para el acceso a los productos, por ejemplo, rejas, mamparas, vitrinas, etc., sin embargo, las respuestas colectadas se categorizan como neutrales y de poco desacuerdo respecto de ellas, esto podría implicar que los clientes están habituados a ellas o que efectivamente no restringen la adquisición de los productos. Esto último puede deberse a la cantidad adquirida por cada cliente.

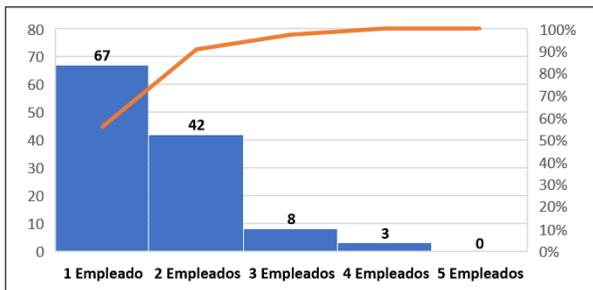
Respecto del horario de atención, se ha mencionado como característica de las nanostores su flexibilidad de horario y/o sus horarios de apertura y cierre, sin embargo, las respuestas señalan que aun habiendo una percepción positiva hay una diferencia de 40 minutos, en promedio, entre la hora de apertura y la hora en la que los clientes desearían estuvieran abiertas. Esto se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Horario de apertura vs horario en que se esperaría la nanostore estuviera abierta.

**Fuente:** Elaboración propia

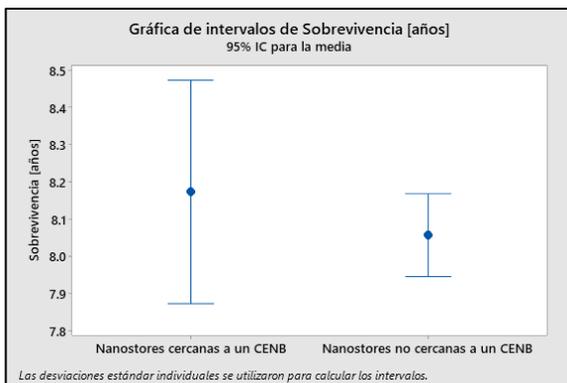
Con respecto al número de personas empleadas, una de las características principales de las nanostores es que son negocios pequeños, las respuestas de los propietarios de las nanostores de la zona de estudio señalan que el 90.8% emplean de 1 a 2 personas. Lo anterior, se muestra en la Figura 8.



**Figura 8.** Personas empleadas por nanostores.

**Fuente:** Elaboración propia

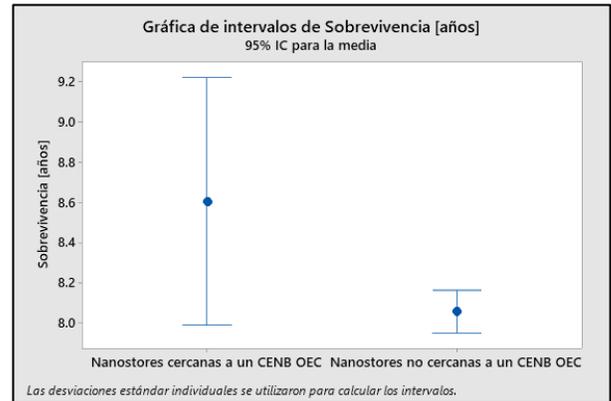
Con respecto a la sobrevivencia de las nanostores de la zona, tomando como referencia temporal el primer día de junio de 2021, en la zona de estudio, las nanostores cercanas a un CENB sobreviven más que aquellas no cercanas. En la zona se identificaron 677 cercanas a un CENB y 4,943 no cercanas. La desviación estándar del tiempo de sobrevivencia de las nanostores cercanas a un CENB es mayor en 0.12 años que la de aquellas no cercanas a un CENB. Véase Figura 9.



**Figura 9.** Sobrevivencia de nanostores cercanas a un CENB.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>)

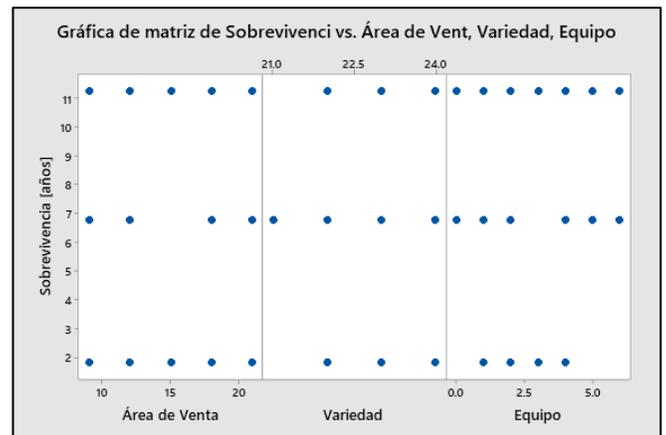
De la misma manera, si se consideran las AGEB con oferta educativa completa de CENB, la desviación estándar del tiempo de sobrevivencia de las nanostores cercanas a un CENB es mayor en 0.45 años, esto se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Sobrevivencia de nanostores cercanas a un CENB con oferta educativa completa.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>)

Por otra parte, como se muestra en la Figura 11, respecto del equipamiento, la variedad de productos y área de venta como factores que favorecen la sobrevivencia de las nanostores, no se encontró diferencia significativa si se asocia a la cercanía de un CENB.



**Figura 11.** Sobrevivencia de nanostores cercanas a un CENB.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI (2020<sup>a</sup>) y obtenidos de los cuestionarios aplicados.

## V. CONCLUSIONES

En general, la sobrevivencia de empresas presenta comportamientos y características distintas y diferenciadas según su actividad económica, entre ellas: número de personas empleadas, capital invertido, apalancamiento, etc.

Los estudios en torno de las nanostores han identificado de ellas un conjunto de características comunes ya señaladas que también se han asociado a su sobrevivencia, estas características se han considerado factores de su sobrevivencia. Se ha llegado a concluir que los establecimientos pequeños mueren más rápido que los considerados grandes.

Por ejemplo, asociar la supervivencia de los nanostores, en particular las mexicanas, a su tamaño resulta difícil debido a la información disponible. En el DENUÉ existe un apartado que puede reflejar el tamaño de un establecimiento: “Personas ocupadas”. La categoría más baja es de “0 a 5 personas”, en esta categoría caen la mayoría de los nanostores de la zona de estudio, emplean de 1 a 2 personas. Un seguimiento generacional semestral podría aportar mayor detalle en el estudio de la supervivencia de los nanostores. Los datos disponibles en el DENUÉ son verificaciones quinquenales en cada Censo Económico del INEGI.

Respecto de la relación entre clientes y nanostores como factor de sobrevivencia, en este trabajo se encontró que: el precio de los productos, la atención al cliente y la calidad de los productos, son las razones que atraen a los clientes hacia los nanostores.

Un factor mencionado en algunos estudios respecto de lo que desalienta a los clientes de los nanostores es el acceso a los productos, acceso que puede ser restringido o libre. Sin embargo, en este estudio tanto clientes como propietarios mantuvieron una postura neutral en cuanto a las restricciones físicas (rejas, mamparas, vitrinas, etc.) que limitan el acceso a los productos, declararon que no les afectan. Claro, estos resultados podrían diferir de acuerdo con la zona de estudio.

Como se ve, los factores asociados a la sobrevivencia de los nanostores son muchos y variados, características propias y contextuales inciden ampliamente; la sobrevivencia de los nanostores se vuelve un fenómeno multidimensional que estudiar. Una condición contextual que considerar es la logística urbana que indudablemente aporta factores para la sobrevivencia de los nanostores, entre otros: la disponibilidad de los productos, su diversidad y calidad, dependientes en buena medida de la distribución.

La presencia de servicios y su cercanía con los nanostores también es un factor de la logística urbana. En este estudio, la presencia de CENB influye favorablemente en la sobrevivencia de los nanostores. Los nanostores contribuyen en dos objetivos de la logística urbana: la movilidad y la habitabilidad. Los nanostores reducen los desplazamientos urbanos y las necesidades de viaje, sobre todo aquellos que se hacen en vehículo. Los nanostores son elementos urbanos para cumplir el propósito de la distribución de mercancías. Seguirán siendo fundamentales para la distribución de ciertos productos, pero sobre todo para ciertos mercados, es de esperarse que sobrevivan aún bajo condiciones urbanas poco favorables.

#### REFERENCIAS.

1. Boulaksil, Y. (2017). Should FMCG Manufacturers Accept Delayed Payments From Small Retailers in Emerging Markets? POMS 28th Annual conference. Seattle, WA, US.
2. Guillermo D'Andrea, Belen Lopez-Aleman, Alejandro Stengel, (2006b), Why small retailers endure in Latin America, International Journal of Retail & Distribution Management, Vol. 34 Iss 9 pp. 661 – 673
3. Guillermo D'Andrea, Larry J. Ring, Belen Lopez Aleman, Alejandro Stengel, (2006a), Breaking the myths on emerging consumers in retailing, International Journal of Retail & Distribution Management, Vol. 34 Iss 9, pp. 674 – 687
4. Hargadon-Andrew (2010). Into the valley of Death, Centro de Emprendimiento de la Universidad de California Davis, página web: <https://andrewhargadon.com/2010/04/07/into-the-valley-of-death/>. Fecha de consulta 28/04/2021.
5. INEGI (2015). Esperanza de vida de los negocios en México. Metodología. [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825068431.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825068431.pdf)
6. INEGI (2017). Esperanza de vida de los negocios en México. Sistema de indicadores sobre demografía económica, <https://www.inegi.org.mx/temas/evnm/#Tabulados>. Fecha de consulta 28/04/2021.
7. INEGI (2019). Medición de la informalidad. <https://www.inegi.org.mx/temas/pibmed/>. Fecha de consulta 28/04/2021.
8. INEGI (2020a). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUÉ). <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>. Fecha de consulta 28/04/20201.
9. INEGI (2020b). Sistema de indicadores sobre Población; Densidad de población. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?t=123&ag=00#tabulados>. Fecha de consulta 28/04/2021.
10. NIELSEN (2013), ¿Quién compra en el canal tradicional?, Nielsen Shopper Solutions (1500 entrevistas en vdm,gdl y mty). <https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/ANAM.20Publicacion20Mayo-Junio202013.pdf> Fecha de consulta 28/04/20201.
11. Raul Soto Peredo, Benito Sánchez Lara y Reyna Isabel Gayosso García (2019). Distribución detallista de mercancías de consumo de rápido movimiento: caracterización de una unidad de análisis. Facultad de Ingeniería, UNAM.
12. Zwilling, M. (2013). Forbes welcome. Forbes.com. Fecha de consulta 05/05/2021. <https://www.forbes.com/sites/martinzwilling/2013/02/18/10-ways-for-startups-to-survive-the-valley-of-death/#44c02f5269ef>

## ANEXO

Cuestionario dirigido al encargado o dueño de la nanostore:

### Parte 1. Opinión

1. Considero que el precio de los productos es adecuado.
2. Los clientes reciben un trato amable.
3. El cliente es atendido en un tiempo razonable.
4. Las restricciones físicas como rejas, mamparas, vitrinas, etc. afectan a los clientes.
5. El negocio cuenta con el equipo necesario (báscula, rebanadora, caja registradora, refrigerador, terminal punto de venta).
6. La variedad de productos y presentaciones es adecuada.
7. Considera que el horario de atención cubre las necesidades de los clientes.
8. La competencia vende los mismos productos.
9. ¿Qué valoran más los clientes?
10. ¿Cuál es el horario de atención?
11. ¿Qué diferencia al negocio de su competencia?
12. ¿Por qué los clientes prefieren su negocio?

### Parte 2. Información de la unidad de negocio.

1. ¿Cuántas personas laboran en el negocio?
2. ¿Cuenta con rejas, vitrinas o mamparas?
3. ¿Cuál es su área de venta?
4. ¿Cuál es su horario de atención?
5. ¿Con qué tipo de equipamiento cuenta?
  - Báscula
  - Rebanadora
  - Caja Registradora
  - Refrigerador
  - Frigorífico
  - Congelador
  - Lector de Barras
  - Terminal Punto de Venta
  - Terminal Móvil
6. ¿Qué tipo de productos vende?

Leche	Agua purificada	Queso
Frituras	embotellada	Crema
Conservas	Cerveza	Embutidos
Huevo	Vinos y licores	Dulces
Productos enlatados	envasados	Galletas
Pan	Servilletas de papel	Cigarros
Pasteles	Utensilios de cocina	Papel
Botanas	desechables	higiénico
Jabón	Comida y cuidados para mascotas	Detergente
		Refrescos

**Repensando la estrategia de distribución:  
integración del último eslabón de la cadena  
de suministros y el enfoque de Logística Urbana**

*Rethinking distribution strategy: integrating  
the last stage of the supply chain and the Urban  
Logistics approach*

Raul Soto-Peredo, Benito Sánchez-Lara

# Repensando la estrategia de distribución: integración del último eslabón de la cadena de suministros y el enfoque de Logística Urbana

**Raul Soto-Peredo**

Colegio de Ciencia y Tecnología,  
Universidad Autónoma de la Ciudad de México  
Ciudad de México  
[raul.soto@uacm.edu.mx](mailto:raul.soto@uacm.edu.mx)

**Benito Sánchez-Lara**

Departamento de Ingeniería de Sistemas,  
FI-UNAM  
Ciudad de México  
[blara@unam.mx](mailto:blara@unam.mx)

**Abstract :** *The term distribution strategy is widely used in the supply chain and logistics literature. It is used to refer to the location of distribution centers, the management of logistics friction (e.g., congestion conditions, security, space for loading and unloading, and parking), and the impact of regulations on the distribution itself. These conceptions have accompanied the advances in different areas of knowledge associated with supply chains and logistics, however, these advances have been located in developed economy environments and have mainly relied on optimization methods (in general, for the minimization of logistics costs). This paper presents a review of the use of the term distribution strategy and proposes a definition that integrates, at a microscopic level, nanostores as the last link in a supply chain, and integrates, at a macroscopic level, the dimensions of Urban Logistics. These two contributions are justified by how nanostores are considered in distribution, i.e., receiving agents whose social, economic, and environmental performance and function do not affect the form that distribution takes, and, on the other hand, by the need to consider complex distribution environments, particularly megacities in emerging economies.*

**Keywords:** *distribution strategy, urban logistic, nanostores, last mile distribution*

**Resumen:** *El término de estrategia de distribución es ampliamente utilizado en la literatura, en ocasiones es utilizado para estudiar la localización de centros de distribución, en otras para gestionar la fricción logística en el proceso de distribución (tales como congestionamientos, robos, espacios inadecuados para las operaciones de carga y descarga y espacios insuficientes para estacionamiento), así como para identificar el impacto de regulaciones o para asumir un enfoque de sustentabilidad. Sin bien, estos enfoques han brindado importantes avances en diferentes áreas de conocimiento de la logística, habitualmente estos temas son analizados en el entorno de economías desarrolladas y bajo un enfoque optimizante (en general, para la minimización de costos logísticos). En este trabajo se revisa el concepto y se propone uno nuevo que incluye una perspectiva más amplia, a nivel microscópico se integra el último eslabón de la cadena de suministro y a nivel macroscópico, bajo el enfoque de la Logística Urbana, se suma un marco más robusto que responde a las necesidades de entornos cada vez más complejos, como las megaciudades en economías en desarrollo. Estas dos aportaciones se justifican por la forma en que se*

*consideran las nanostores en la distribución, es decir, agentes receptores cuya actuación y función social, económica y medioambiental no afecta a la forma que adopta la distribución, y, por otro lado, por la necesidad de considerar entornos de distribución complejos, en particular las megaciudades de las economías emergentes.*

*Palabras Clave:* *estrategia de distribución, logística urbana, nanostores, distribución de última milla.*

## I. INTRODUCTION

Different authors use the term *distribution strategy* to refer to the operations associated with the distribution of goods. From this perspective, the term is used to refer to the importance of operations, but it does not highlight the hierarchy of decisions in the planning of organizations, transformative decisions in the way of doing business. Therefore, its scope is usually located in the immediate environment of distribution, that is, it analyzes at the operational level the use of different resources such as vehicles (types of vehicles, capacity, fleet size, occupancy), the location of facilities (distribution centers, warehouses, logistics platforms) and the participants (among which are carriers, logistics providers, producers, and customers).

In this context, the logistics activity of transportation between the distribution stages and the arrival of the goods at the retailers has been studied from the perspective of its operation within the Supply Chain. However, on more than a few occasions this topic has been addressed with an optimizing approach; Huang, Wang, and Dismukes [22] point out that the Supply Chain, under the integrated network approach, has been used for the optimization of facility location and technology use, as well as sourcing, production and distribution decisions, Another approach pointed out by [22] is to decompose the Supply Chain into four major activities (material control, production, inventory management, and distribution) where the objective is to minimize the total cost, however, they recognize that the simple aggregation of optimal solutions does not necessarily lead to the optimal solution of the Supply Chain as a system. Indirectly, the approach is supported using performance

metrics, which can be placed in a tactical/operational context [36] and therefore do not take into consideration strategic scope.

In addition, according to Antún [5], Last Mile Distribution (LMD) studies the transportation of goods in the urban structure and its associated operations: delivery, collection, transfers, loading/unloading, placement at points of sale, cross-docking with or without transitional storage for multiple supplies during the day and return in reverse logistics. For this reason, the participants that comprise it are:

- Service providers: those agents that provide transportation and logistics services to whoever demands them; with their own means, third parties, or a combination of both;
- Local administration: responsible for the regulation of transport and logistics services, as well as the infrastructure management and operating rules in urban areas;
- Active actors: those affected by LMD activities, these can be jurists, neighbors, and users, among others;
- Service applicants: those agents that require the products or services; they can be commercial establishments or private homes.

It is observed that LMD is approached, academically and professionally, as a problem from the point of view of the participants in the Supply Chain and, therefore, entails the approach of private actors so that the transportation of goods is usually configured as part of a distribution system where the main actors are the producers, distributors (wholesalers) and retailers, between whom contracts are established and the volumes of goods transported are high, with the aim of establishing economies of scale and making their operations more efficient, i.e. optimizing the use of vehicles used for this purpose, among other resources [39].

From this optimizing approach arise the vehicle routing problem and the routing-inventory problem [12]. The vehicle-routing problem (VRP) considers as relevant the transportation costs, the demand (which is considered stochastic), and the set of customers; it is assumed that the consumption rate of the goods is known, so the customer and his consumption behavior are parameters that can be known. As for the inventory - routing problem (IRP) analysis, it is understood as the combination of the problems of routing, delivery scheduling, and inventory management, i.e., a supplier delivers goods to a number of geographically dispersed customers and logistic solutions are sought by optimizing inventories, vehicle routes, and delivery schedules.

These approaches do not take into consideration the dimensions of Urban Logistics, neither the characteristics of the ultimate points of sale of the goods, in particular the nanostores, since they are usually recognized as simple recipients of the distribution process and are considered as equal units.

Finally, from the logistics point of view, the so-called modern distribution channel relies on distribution centers, cross-docking, and logistics providers, among other elements, to support more efficient distribution activities. This approach excludes nanostores from the entire decision-making process on distribution strategy because, as mentioned above, the

relationships between distributors and retailers are given by contracts and a high volume of exchanged products [36], which contrasts with the needs of nanostores themselves. Nanostores require low volume frequent supply [10], since, not having the support of the modern distribution channel, they depend mainly on the supply of products through direct distributors, they do not have specific spaces for storage and their sales floor is reduced [27], to meet the requirements of fast-moving consumer goods. Also, because these distributors are responsible for selecting the attributes of the vehicle to be used according to type and quantity of products transported, the total number of trips, driving restrictions, and other operating rules [5].

Emphasis is placed on nanostores for being the main marketing channel for fast-moving consumer goods (FMCG), goods in high demand in megacities, and which are usually not considered in research works on distribution. The relevance of nanostores has been documented by D'Andrea, López-Alemán & Stengel [14], Blanco & Fransoo [8], and Soto-Peredo, Sánchez-Lara, & Gayosso García [37]. Meanwhile, megacities, as the environment where the distribution activity takes place, are highlighted by trends of population growth and densification, and economic power, particularly in developing economies [38]. Megacities have geographically dispersed retails, a large number of retails, congestion, insufficient and, in some cases, poor infrastructure, significant pollutant emissions associated with the distribution of goods, and high fuel consumption in cities [1], [3], [6], [7], [29], [32].

Distribution channels indeed seek to place fast-moving consumer goods in nanostores, among other sales points, but the attributes of nanostores are not taken into consideration when designing strategies. Nanostores are only considered receivers. In addition, externalities related to distribution operations are left aside.

In this regard, the aspects of proximity, cost, and social impact are characteristics of nanostores that should be taken into account in the design of ad hoc distribution strategies. Just as the environment of megacities in emerging economies is a substantive element in the way goods are distributed and, consequently, in the design of distribution strategies.

Therefore, it is of interest for the article to propose a definition that integrates nanostores as the last link in a supply chain and the dimensions of Urban Logistics, by proposing an approach at the microscopic and macroscopic levels, respectively. So, this article does not involve data analysis and it is not based on any methodological approach to be demonstrated. But look for a new approach to distribution strategy definition that allows a comprehensive scope.

## II. LITERATURE REVIEW

The literature review has focused mainly on the topic and definition of the concept of distribution strategy. However, this review has also relied on topics such as FMCG, nanostores, and Urban Logistics.

First of all, commodities are determinants for the design of the distribution strategy. The characteristics of the goods themselves affect aspects of their commercialization (marketing, market penetration, opportunity), while the distribution strategy

is directly related to the physical aspects (dimensions, weight, shelf life, packaging).

Particularly, some products that present frequent purchases (commonly at low costs) and that seek market saturation as a distribution strategy, are those known as fast-moving consumer goods (FMCG). In Mexico, by 2012, products classified as beverages (37%), basic groceries (16%), cigarettes (12%), and dairy (12%) were the most frequent for sale in nanostores [1]; the remaining 23% were distributed in fifteen other product classifications.

Due to the demand and number of FMCG producers, there are three main objectives in their distribution [7]:

- Product availability: the final customer will be able to get hold of the products of interest only if they are on the shelves; this availability should be a reflection of the customer profile for each area;
- Product quality: distribution should seek to ensure that customers have the best product in terms of freshness, appearance and quality;
- Cost-effective distribution: the costs associated with distribution should achieve product availability, and quality at the lowest possible cost.

In the second place, nanostores. Also in Mexico, according to Euromonitor International [18], the traditional retail segment (nanostores) remains the dominant distribution channel for FMCG. These are associated with frequent consumption habits, either by impulse or habit and represent large sales volumes at low prices [30]. To this purpose, according to Escamilla, Fransoo, and Tang [17], most FMCG producers rely on direct-to-nanostore distribution schemes; meaning that only the products of one or a few manufacturers are sold and delivered. This distribution scheme can be qualified as inefficient, as no use is made of full-truckload (FTL) type operation practices, leading to highly fragmented and geographically dispersed operations (higher number of delivery points) [17] and more frequent deliveries with low inventory levels, leading to lower vehicle load factors and, consequently, the presence of a higher number of freight vehicles [27].

The preceding is consistent with those pointed out by Dablanc [15], as she recognizes the presence of hundreds of supply chains in urban areas and highlights that in the case of Mexico City, 80% of private carriers have less than 5 vehicles in their fleet and that 70% of these companies are light commercial vehicles (less than 3.5 tons).

Regarding the number of nanostores in Mexico, according to the National Statistical Directory of Economic Units (DENUE in Spanish) [24] and the 2020 Economic Census [25], there were 604,880 economic units that match the characteristics of the nanostores, about one nanostore per 200 inhabitants. Economic Census 2014 indicated that 99.1% of economic units employed up to 5 people, occupying 27.7% of the paid personnel in the commerce sector (approximately 1,955,260 employees, 6.6% of the total paid personnel in the country), and together they contributed 27.1% of the total gross production of the commerce sector in Mexico in 2014 (that is, the value of all goods and services marketed by the establishments). It is observed that

nanostores are important economic units since they contribute a significant number of jobs, as well as to the total gross production.

In general, the nanostores stand out for: being family businesses, they operate with limited physical resources, they require high frequencies for the supply of goods in small quantities, in few cases, they make use of formal systems for decision making, their operation is strongly supported by empirical knowledge, their bargaining power with their suppliers is limited, the availability of cash is limited and uncertain and in practical terms, there are no barriers to entry [10], [20], [21], [26].

Finally, the context of Urban Logistics. The influence of megacities in emerging economies on Last Mile Distribution, according to Kin et al. [27], will impose three factors that support the existence of nanostores. First, because megacities have fewer and fewer spaces for the location of large-format retailers (such as supermarkets), the formats and location of nanostores will allow them to be in close proximity to customers. Secondly, due to a combination of poor infrastructure, transportation costs, and limited resources entering households, the ability of customers to obtain products from other larger retailers is restricted. Finally, personal treatment, convenience, and the availability of informal credit play an important role in the social function of nanostores. Therefore, the aspects of proximity, cost, and social impact are characteristics of nanostores to be considered in the design of *ad hoc* distribution strategies.

In addition, megacities will continue to be increasingly robust markets (due to their size, product diversification, and distribution channels), it is estimated that 54% of the world's population by 2015 lived in cities and 68% of the population will live in urban areas by 2050; while in Latin America and the Caribbean 81% of its population lives in urban centers [23], [31]. However, as the complexity of the distribution of goods grows, so will the problems of goods distribution, reflected in negative externalities such as road safety, congestion, and accessibility.

Thus, the literature review, in addition to considering the definition of distribution strategy itself, takes into consideration the type of product (FMCG), the point of sale (nanostores), and the context in which this activity takes place (megacities and urban logistics).

#### A. Distribution strategy

Boulaksil and Belkora [10] and Kin et al. [26] describe that there are two strategies for distributing goods to nanostores, direct and indirect distribution. The direct distribution strategy is where producers sell and deliver their products directly to the points of sale, it is used by producers with the intention of maintaining greater control over the marketing of their products [20] and also when the density of points of sale is high and high sales volumes justify the logistical costs associated with the ownership of commercial vehicles to carry out the distribution of goods [21], such as the ownership of commercial vehicles, maintenance, operators, among others. This usually involves the use of commercial vehicles of large dimensions and weight, such as those classified as C2 (truck, a motor vehicle with six or more tires, and a gross vehicle weight greater than 4 tons) [33].

One strategy under this perspective is called *on-board sales*, in this scheme, the producer fills the commercial vehicles with the products to be distributed and visits the nanostores, so that the supply is made at the time of the visit. Another strategy is *pre-sales*, in which a representative (pre-salesman) visits the nanostores to collect the orders and the supply is made later (usually the following day). In both cases, the nanostore owners decide which products and how many to buy based on available space and cash [7], [9], [20].

The indirect distribution strategy is one in which there is the participation of an intermediary between the producers and the points of sale for the sale or distribution of the products; these intermediaries can be wholesale stores or other distributors (such as logistics providers); the objective of this strategy is to reduce logistics costs at the cost of reducing control over the marketing of the products [21]. In some cases, this strategy is used by some transnational companies in order to rely on the knowledge of intermediaries of the conditions and characteristics of the markets and their culture to adapt their distribution operation, but also as an alternative when producers have financial restrictions [7].

One distribution strategy under this classification is own supply; in this case, the owners of the nanostores are the ones who assume the supply by their own means through wholesalers [7]. It should be noted that there are other distribution schemes, both direct and indirect, but they are not used in nanostores [9], [20].

In the previous paragraphs, it can be seen that the term distribution strategy is used in the literature to refer to some operations and tactical aspects of distribution; however, according to Crainic [13], the distribution of goods at a strategic level involves decisions at the highest hierarchical level of companies and usually requires large amounts of financial resources over a long-term time horizon, so it is evident that in the literature the term is used simply to note the importance of these activities and not their hierarchy in terms of planning.

### B. Urban framework

In the urban environment, the distribution of goods to nanostores is relevant, first of all, because of the interests it pursues, for example, by itself, the distribution of goods is interested in optimizing resources from a fragmented demand, adapting to market demands due to the growth and increase of population density and, taking into consideration its operation in the urban environment, its impact on the social, economic and environmental scope; e.g., strengthening the economy at national, regional or local scales, improving the environment in urban areas, making quieter, safer and cleaner environments in communities [19], [41].

Secondly, because of the externalities, it generates; according to De Rus et al. [15], an externality is produced when an agent carries out an action from which effects (positive or negative) are derived that have an impact in the form of benefits or costs on other agents. In this situation, the agent causing the effects is not bound to make any compensation payments to those affected by the costs imposed or is not entitled to receive compensation for the benefits generated. From this perspective,

some negative and positive externalities associated with the distribution of goods to nanostores are described below [37]:

#### 1. Congestion.

Congestion results from the coexistence of different transport systems and modes in a given area. This coexistence occurs naturally due to the interaction between economic and social activities. The operation of transport systems from a mobility framework accentuates congestion. The distribution of FMCG to the nanostores makes use of multiple modes of transportation, which generates great interaction between them, thus, distribution both produces and is affected by congestion.

The dynamics between the transportation system and the urban infrastructure directly or indirectly encourage the use of vehicles and therefore affect delays in the distribution of goods. That is, transportation activity is carried out in limited road spaces that face difficulties in expanding the road supply, due to the costly provision of road infrastructure and the lack of physical availability of spaces required for this infrastructure, together with the poor condition of the pavement. Moreover, in general, the most desired transportation mode in terms of safety, comfort, reliability, and autonomy is the private automobile, which requires greater use of road space per passenger (compared to buses); moreover, users of private automobiles usually make use of their service considering a partial perception of the costs derived from their decisions of the route, mode, origin, destination and time of travel (leaving aside the social costs). Therefore, the result of the combination of infrastructure and private car use is the overexploitation of existing roads. Thus, congestion and associated delays not only generate higher costs (fuel consumption, maintenance, tire wear, among others), but also other social costs such as environmental pollution, noise, stress, road insecurity and longer travel times [42].

#### 2. Saturation of urban infrastructure capacity .

The process of distribution of FMCG is assumed to be a function of private actors under the rubric of the Supply Chain. In this Supply Chain framework, in general, total logistics costs are optimized by taking into account mostly the internal costs of the private companies that distribute FMCG, even though distribution itself imposes costs on other agents, such as delays associated with congestion, emission of pollutants into the atmosphere, to mention a few costs and these costs are usually not considered. The distribution of FMCG is an activity that coexists with the distribution of other types of goods, with public passenger transportation and with private automobile transportation. The distribution channels and the range of transport modes, using the limited capacity of the infrastructure, have different, even conflicting, priorities, interests, objectives, and approaches.

The interaction of distribution activities leads, among other things, to reduced mobility, risks from handling goods in public spaces, and competition for the appropriation of public space, the latter being one of the most important and difficult problems to solve in urban areas. The way in which these externalities have been dealt with is through restrictive public policies, aimed at improving mobility but negatively affecting accessibility.

Two regulations of this nature are the weight and dimensions of freight vehicles [33] and operating hours [34] (time windows), which aim to mitigate the risks associated with their

operation, but are detrimental to the profits of carriers, Mexico City being no exception. In addition, there is evidence that these types of regulations cause significant increases in the total kilometers traveled, the number of vehicle-hours and the use of many smaller vehicles (of lower load capacity) to complete deliveries, besides increasing traffic congestion, it is important to mention that these restrictions also cause the use of alternate roads or routes that are usually unsafe or have physical restrictions or limitations (such as narrow roads or steep slopes) [43].

### 3. Impacts on sustainability.

Considering economic, social, and environmental elements as guiding principles of sustainability, it is possible to point out the following externalities. Firstly, pollution from emissions is caused by distribution activities. This externality is usually mitigated by public policies aimed at the use of vehicles, but these policies imply limiting or reducing the economic and social contribution of these activities. On the other hand, there is the productivity or economic wealth generated. Specifically, nanostores as economic units, are a source of self-employment and formal and informal employment. Finally, the social framework of which they are part, and which can be constituted from them and the relationship with their customers [1].

### C. Distribution strategy and Urban Logistics

Some literature approaches focus specifically on distribution problems, the location of distribution centers, the management of logistic friction in the distribution process (such as congestion, theft, inadequate space for loading, and unloading operations and insufficient space for parking), to identify the impact of regulations or to assume a sustainability approach. However, they are mainly addressed in the context of developed markets [10].

In this perspective, Cattaruzza et al. [11] propose for the movement of consumer goods within the context of Urban Logistics the following classification of approaches for the optimization of distribution routes (this topic being part of the so-called distribution strategies):

- Movements between establishments, via logistics providers, for the shipper's own account or for the consignee's own account. The flows are analyzed under the less than truckload (LTL) or full truckload (FTL) approach and the models used are the VRP and traveler sales problem (TSP).
- Consumer movements, this approach analyzes the routes generated by private vehicles for the purchase of products and addresses home deliveries or deliveries to points located in the vicinity of customers, with the aim of reducing delivery points by consolidating them to certain reception points. The tools used are the four-stage model for the first case (generation and attraction, distribution, modal selection, and allocation) and route optimization using VRP or TSP in the other cases.
- Movements for urban management analyzes flows related to public services, such as urban infrastructure maintenance, urban solid waste collection, and postal services. Its analysis and the tools used are similar to the movement between establishments.

For their part, Coelho et al [12], based on 76 different IRP models analyzed (between 1983 and 2013) observe that they take into consideration the following variables and restrictions:

- Time horizon: finite or infinite.
- Structure: one-to-one, one-to-many or many-to-many.
- Routing: direct, multiple, or continuous (the latter as in maritime services).
- Inventory policy: maximum level (flexible replenishment volume but limited to each customer's capacity) or order-up-to level (quantity delivered is that to fill the inventory capacity).
- Inventory decisions: lost sales, delayed sales, or non-negative inventory.
- Fleet composition: homogeneous or heterogeneous.
- Fleet size: single, multiple, or unrestricted vehicles.

It is observed that VRP and IRP focus on the reduction of logistics costs of distributors, generally, wholesalers, since they deal with variables and decision criteria concerning the entities belonging to the Supply Chain prior to retailers; that is, the characteristics of the points of sale are not taken into consideration in the distribution process (a microscopic approach is not assumed), the same happens with the objectives set by Urban Logistics as they are not considered (macroscopic approach). This is consistent with what was observed by Lagorio et al. [28], who recognize in their literature review that the issues addressed in Urban Logistics, urban distribution of goods, and Last Mile Distribution, focus on:

- Constraints: time windows, regulation on weights and dimensions, night deliveries.
- The location of collection points, as well as facilities and their relationship with loading and unloading areas.
- Toll collection.
- Integration of stakeholders in decision making, mainly those focused on technical aspects.
- Definition and calculation of performance measures for project evaluation.
- Use of consolidation, distribution, and transshipment centers.
- Use of VRP for route and fleet optimization, reduction of pollutant emissions, and traffic.
- Traffic management and information management through intelligent transportation systems.
- E-commerce, its relationship with distribution systems, and the stereotype of the customer that makes use of this type of commerce.
- Use of alternative means of transportation such as electric or gas vehicles, streetcars, bicycles, drones.

#### D. Distribution strategy to nanostores in emerging markets.

Boulaksil and Belkora [10] argue that the main differences in the problems of distributing goods to nanostores in emerging markets are in the number of points of sale, the frequent supply of small quantities (due to space and cash constraints), and the passive role of nanostore owners in ordering for their supply.

This is particularly relevant as retail in urban areas is growing in number and shrinking in size [35]; in many cases retailers order individually and independently, based on their own inventory policies, resulting in an increase in low-volume orders and, at the same time, producing a large volume of orders with high frequency.

Distribution to nanostores is a source of negative externalities to the detriment of [27]:

- the economy by contributing to congestion,
- society by jeopardizing road safety, and
- the environment through air pollution.

### III. STRATEGIC PERSPECTIVE

As mentioned above, the term distribution strategy is used in the literature to refer to some operations and tactical aspects of distribution, however, the distribution of goods at a strategic scope should involve decisions at the highest hierarchical level of companies and usually decisions require large amounts of resources [13], so it is evident that in the literature the term is used simply to note the importance of these activities and not their hierarchy in terms of planning.

These conceptions have accompanied the advances in different knowledge areas associated with supply chains and logistics (some of them have already been mentioned, VRP and IRP); however, these advances have been located in developed economies and have relied mainly on optimization methods.

Therefore, it is of interest to propose a definition that integrates nanostores as the last stage in a supply chain (microscopic approach) and the dimensions of Urban Logistics (macroscopic approach), Fig. 1.

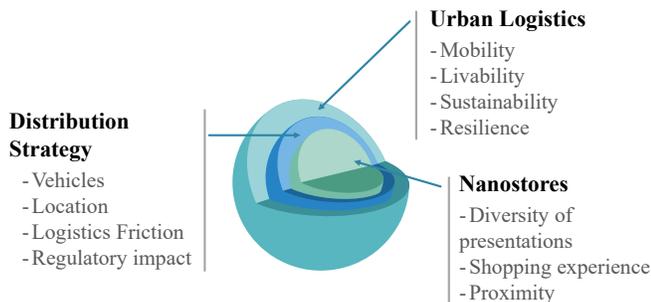


Fig. 1. Macroscopic and microscopic scope to strategic distribution

These two contributions are justified by the way in which nanostores are considered in distribution, i.e., receiving agents whose social, economic, and environmental performance and function do not affect the form that distribution takes. And

because of the need to consider complex distribution environments, in particular, megacities in emerging economies.

The following definition of distribution strategy is proposed.

*Distribution strategy is the set of decisions that determines how the supply of goods is performed in the urban context, that is, assuming the conditions in which it operates, in addition to considering the participation of customers and society as affected agents.*

This definition considers how the supply of goods is carried out, contemplates changes in the factors that make supply possible, this generally entails long lead times, involves a large part of the organization, is not an isolated effort, and reversing decisions has costs.

According to Crainic & Laporte [13] examples of strategic decisions are “the design of the physical network and its evolution (upgrading or resizing), the location of main facilities (rail yards, multimodal platforms, etc.), resource acquisition (motive power units, rolling-stock, etc.), the definition of broad service and tariff policies, etc.”

However, decisions under this perspective must be aimed at finding a balance between supply chain and Urban Logistics objectives. By assuming mobility, livability, sustainability, and resilience as objectives of Urban Logistics, the distribution must adapt to its environment, which could lead to operating environments adapted specifically those in megacities and developing economies.

Those attributes that facilitate the integration between distribution strategies and Urban Logistics will be the common drivers that in turn will be decisive in determining the tactical and operational dimension of distribution.

### IV. CONCLUSIONS

Within the supply chain itself, distribution usually focuses on cost minimization and its operational vision leaves aside some relevant aspects such as the balance of product availability, service level, technical support and has little involvement in the location of facilities. It is not even considered an activity that effectively integrates the supply chain. Therefore, distribution can hardly be an integrating element of other external elements.

According to Stevens & Johnson [39], companies rarely consider supply as a strategic activity; on the contrary, they assume it as an operation, so it is difficult for decisions in this regard to have a more comprehensive scope.

This is a reflection of the multiple externalities derived from this activity, which are generally assumed by society. That is, supply as an operation is an agent that generates externalities, although in some cases there is a regulation on this, decisions are focused on how to reduce logistic friction, but do not take into consideration the effective mitigation of the externalities it produces in its environment or in other agents involved, so the current vision of the distribution strategy is limited.

By not considering the environment, the externalities, the physical attributes of the means used to carry out this operation (such as roads, the density of points of sale, land uses, to mention some of them) are left aside, but the coexistence of this operation

with other substantive activities of the urban environment (such as passenger transportation, both public and private, the operation of urban and emergency services, among others) is not considered either. In other words, there is a lack of alignment between the execution of the distribution and the environment in which it is carried out.

This lack of alignment is also present in the traditional distribution channel by not considering the relationship between distribution and those agents to whom the products are supplied. Distribution in traditional channels and its strategy do not consider the characteristics of the points of sale. Therefore, aspects such as product diversity, shopping experience, and proximity are closely related to supply, but this relationship is not reflected in the considerations for the design of distribution strategies.

Assuming a distribution approach that integrates urban logistics and the particularities of nanostores entails the collaboration of different participants, not only those who make up the supply chain. This, in turn, implies the alignment of objectives. Collaboration and alignment are challenges in their own right, because of the definition of participants and multi-objective decision making. In addition, the environment in which distribution takes place is dynamic with multiple constraints (such as physical and regulatory).

But overcoming these challenges would make it possible to address externalities in the context of megacities, especially those caused directly and indirectly by traditional distribution channels targeting nanostores in developed economies, which requires a better understanding of the interactions between those responsible for the distribution of goods and the urban environment in which this activity takes place. This will make it possible to take into consideration the features of nanostores, as well as environmental and social aspects.

## V. REFERENCES

- [1] Accenture. (2012). Pulso Estratégico. Hacia el Alto Desempeño.
- [2] Aljohani, K., & Thompson, R. G. (2016). Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: Taxonomy and review of literature. *Journal of Transport Geography*, 57 SRC-, 255–263.
- [3] Anand, N., van Duin, R., Quak, H., & Tavasszy, L. (2015). Relevance of City Logistics Modelling Efforts: A Review. *Transport Reviews*, 35 (6), 701–719. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1052112>
- [4] Anand, N., Yang, M., Van Duin, J. H. R., & Tavasszy, L. (2012). GenCLOn: An ontology for city logistics. *Expert Systems with Applications*, 39 (15), 11944–11960. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.068>
- [5] Antún, J. P. (2013). Distribución Urbana de Mercancías: Estrategias con Centros Logísticos. Banco Interamericano de Desarrollo.
- [6] Aragonez, S., & Salinas, A. (2018). El reto de ejecutar la distribución de última milla. *Énfasis Logística*, (198), 70–72. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [7] Barin, I. (2009). FMCG companies specific distribution channels. *Studies and Scientific Researches. Economics Edition*, 14.
- [8] Blanco, E. E., & Fransoo, J. C. (2013). Reaching 50 million nanostores Retail distribution in emerging megacities. Working Paper, BETA Research School, Eindhoven University of Technology, Beta WP 40(January), 1–19.
- [9] Blanco, E. E., & Garza, J. (2012). Multichannel Distribution Strategies in Latin America. 4th World Conference on Production & Operations Management (P&OM), (July).
- [10] Boulaksil, Y., & Belkora, M. J. (2017). Distribution strategies toward nanostores in emerging markets: The Valencia case. *Interfaces*, 47(6), 505–517. <https://doi.org/10.1287/inte.2017.0914>
- [11] Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & González-Feliu, J. (2017). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), 51–79. <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0074-0>
- [12] Coelho, L. C., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2014). Thirty Years of Inventory Routing. *Transportation Science*, 48(1 SRC-BaiduScholar FG-0), 1–19.
- [13] Crainic, T. G., & Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation Teodor. *European Journal of Operational Research*, 97, 409–438. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00298-6](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00298-6)
- [14] D' Andrea, G., Lopez - Aleman, B., & Stengel, A. (2006). Why small retailers endure in Latin America. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 34(9), 661 - 673. <https://doi.org/10.1108/09590550610683184>
- [15] Dabanc, L. (2009). Freight transport for development toolkit: Urban freight. Washington DC, USA. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/863741468333611288/pdf/579710WP0urban0Box353787B01PUBLIC1.pdf>
- [16] De Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del Transporte*. (Antoni Bosch, Ed.).
- [17] Escamilla, R., Fransoo, J. C., & Tang, C. S. (2020). Improving Agility, Adaptability, Alignment, Accessibility, and Affordability in Nanostore Supply Chains. *Production and Operations Management*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1111/poms.13309>
- [18] Euromonitor International. (2018). Euromonitor International Limited. Retrieved September 24, 2018, from <https://www.euromonitor.com/packaged-food-in-mexico/report>
- [19] Fahimnia, B., Bell, M. G. H., Hensher, D. A., & Sarkis, J. (2015). *Green Logistics and Transportation. A Sustainable Supply Chain Perspective*. Springer International Publishing. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-17181-4>
- [20] Garza Ramirez, J. (2011). *Distribution Strategies in Emerging Markets : Case Studies in Latin America Master of Science in Engineering and Management Massachusetts Institute of Technology By. Massachusetts Institute of Technology*.
- [21] Ge, J., Honhon, D., Fransoo, J. C., & Zhao, L. (2020). Supplying to Mom and Pop: Traditional Retail Channel Selection in Megacities. *Manufacturing & Service Operations Management*, (February), 23–31. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0806>
- [22] Huang, S. H., Wang, G., & Dismukes, J. P. (2000). A manufacturing engineering perspective on supply chain integration.
- [23] Iberdrola. (2019). “Megaciudades”, un reto de futuro. Retrieved from <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/megaciudades-nucleos-urbanos>
- [24] INEGI (2020). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUÉ). <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>. Fecha de consulta 28/04/2021.
- [25] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Censos Económicos 2019. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- [26] Kin, B., Ambra, T., Verlinde, S., & Macharis, C. (2018). Tackling fragmented last mile deliveries to nanostores by utilizing spare transportation capacity-A simulation study. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030653>
- [27] Kin, B., Verlinde, S., & Macharis, C. (2017). Sustainable urban freight transport in megacities in emerging markets. *Sustainable Cities and Society*, 32, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.011>
- [28] Lagorio, A., Pinto, R., & Golini, R. (2016). Research in urban logistics: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(10), 908–931. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2016-0008>
- [29] Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Vega-Mejía, C. A. (2015). Non-collaborative versus collaborative last-mile delivery in urban systems with stochastic demands. *Procedia CIRP*, 30, 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.147>

- [30] Murphy, P. E., & Enis, B. M. (1986). Classifying Products Strategically. *Journal of Marketing*, 50 SRC-B, 24–42.
- [31] ONU. (2018). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. Retrieved from <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- [32] Quak, H., Lindholm, M., Tavasszy, L., & Browne, M. (2016). From Freight Partnerships to City Logistics Living Labs - Giving Meaning to the Elusive Concept of Living Labs. *Transportation Research Procedia*, 12(June 2015), 461–473. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.080>
- [33] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2017). NOM-012-SCT-2-2017 - Norma oficial mexicana, sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. México: Diario Oficial de la Federación.
- [34] Secretaría de Seguridad Ciudadana. (2020). 1326 SSC informa sobre horarios de circulación y maniobra de vehículos de carga en el Centro Histórico. Retrieved from <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/1326-ssc-informa-sobre-horarios-de-circulacion-y-maniobra-de-vehiculos-de-carga-en-el-centro-historico>
- [35] Song, R., Zhao, L., Van Woensel, T., & Fransoo, J. C. (2019). Coordinated delivery in urban retail. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 126(March), 122–148. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.003>
- [36] Soto-Peredo, R., & Sánchez-Lara, B. (2015). Sourcing in the supply chain: approximation to a model for the suppliers evaluation. Sanfandila, Querétaro, México: CiLOG.
- [37] Soto-Peredo, R., Sánchez-Lara, B., & Gayosso García, R. I. (2019). Distribución detallista de mercancías de consumo de rápido movimiento: caracterización de una unidad de análisis. Guadalajara, Jalisco: CiLOG.
- [38] Soto-Peredo, R., Sánchez-Lara, B., & Gómez Eguiluz, M. (2020). FMCG distribution to Nanostores: an empirical study in traditional channels. San Luis Potosí, San Luis Potosí: CiLOG.
- [39] Stevens, G., & Johnson, M. (2016). Integrating the Supply Chain ... 25 years on. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(1), 19-42.
- [40] Taniguchi, E., & Thompson, R. G. (2015). *City Logistics. Mapping The Future*. CRC Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3628-7>
- [41] Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T., & van Duin, R. (2001). *City Logistics. Network modelling and intelligent transport systems*. Pergamon. Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- [42] Thomson, I., & Bull, A. (2001). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *SERIE Recursos naturales e infraestructura*. <https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>
- [43] Vidal Vieira, J. G., & Fransoo, J. C. (2015). How logistics performance of freight operators is affected by urban freight distribution issues. *Transport Policy*, 44, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.06.007>



## **Green Logistics to improve a novel vehicle routing problem in Citrus Industry**

*Case study in the area of  
Martínez de la Torre, Veracruz*

Hugo Alberto Bravo Quintero, Carlos Alberto Ochoa Ortiz,  
Isidro Rodríguez Montoro, Carlos Yossio Nakase Rodríguez

# Green Logistics to improve a novel vehicle routing problem in Citrus Industry

## Case study in the area of Martínez de la Torre, Veracruz.

M.I.I. Hugo Alberto Bravo Quintero  
*Departamento de Ingeniería Industrial*  
Tecnológico Nacional de México, Campus Teziutlán,  
ITST  
Teziutlán, México.  
Hugo.bq@teziutlan.tecnm.mx

Dr. Carlos Alberto Ochoa Ortiz  
*Doctorado en ciencias de la ingeniería*  
Tecnológico Nacional de México, Campus Misantla,  
ITSM.  
Misantla, México.  
cbr\_lad7@yahoo.com.mx

Dr. Isidro Rodríguez Montoro  
*Doctorado en ciencias de la ingeniería*  
Tecnológico Nacional de México, Campus Misantla,  
ITSM.  
Misantla, México.  
irodriguez@itsm.edu.mx

Dr. Carlos Yossio Nakase Rodríguez  
*Doctorado en ciencias de la ingeniería*  
Tecnológico Nacional de México, Campus Misantla,  
ITSM.  
Misantla, México.  
cynakaser@itsm.edu.mx

**Abstract—** This article addresses a topic of interest in recent years, due to the increase in greenhouse gas emissions from the logistics and operation of companies. Defined as Green Logistics (GL), its main objectives are economic, social and environmental impact. An exhaustive search of the state of the art of research related to the topic and some of its variants is carried out, finding an area of opportunity due to its incipient state. In addition, a case study is presented, in the citrus sector of Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico, contextualizing the supply chain and describing its assembly process for its mathematical modeling in order to simulate different scenarios that allow decision-making based on sustainability, the results show evidence of feasibility for the application of Green Logistics (GL) both in the sector and in Mexican logistics.

**Palabras Clave—** Green Logistics, routing, citrus industry.

### I. INTRODUCTION

Environmental issues and government regulations make academic researchers and industry professionals aware of sustainable strategies in the logistics and supply chain area [1]. Green logistics (GL) does not only refer to the supply of sustainable products or services for customers, but also to the global logistics flow of items during their journey through the supply chain. On the other hand, various sustainable activities and operations have been carried out, such as production scheduling and the construction of distribution networks. To improve the performance of sustainable logistics, the individual parts of logistics not only have to implement sustainable activities and operations by themselves, but also cooperation and collaboration between different parts of logistics [2]. However, a study of the state of the art carried out by [3] shows that the application of Green logistics in Mexico is incipient. This article shows that most of the research is mainly focused on the Asian continent.

### II. METHODOLOGY

The main goal of this research is to identify the main GL contributions, in order to classify them and subsequently apply them to the case study of the citrus sector in the area of Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico. It was determined to meet some specific objectives of the research in order to successfully carry out the entire process that the research design entails. These particular objectives are shown below.

A. To identify the state of the art of Green logistics issue.

B. To identify which are the variables previously proposed that influence the development of Green logistics in the citrus industry or similar.

C. To analyze a case study of the area in the citrus industry.

For the documentary development of this research, the methodology used in the research is adapted to that proposed by [4], this case study is divided into 3 steps:

- *Step 1 Sample selection:* An exhaustive and extensive documentary investigation was carried out with a database of different investigations. The search was based on keywords related to "Green Logistic", the publications search was firstly conducted interms fastructured combination of related keywords. Any "logistics" or "supplychain" related problems involving the conceptof "green" or "environmental" or "sustainable" or "closed-loop" or "reverse". With this consideration, the following data bases were selected for a comprehensive an dextensive review of this interdisciplinary research: IEEE/IEE Electronic Library via IEEE Xplore, ScienceDirect by Elsevier, Scopus, and

SpringerLink. In addition to those data bases, Google Scholar was also used to complement the related publications. Once the investigations related to the subject had been identified, they were classified within the same matrix. The process of this bibliographic review follows the four-step process model proposed by [5] and taken up by [3] where the material, the descriptive analysis, the selection of categories and the description of the aforementioned model are mentioned. Thanks to this, the resulting articles were delimited in terms of their impact and relationship with the research, where certain problems of transport, network design, programming and production were found, among others .

- *Step 2 Information analysis:* An exhaustive analysis based on the case study was carried out, where we can mention that there is a wide field investigated in the Asian continent over the last 5 years, however, in the case of America or more specifically in Mexico, there is no information reported so far, basically in the area of the case study.
- *Step 3 Report of results:* Table 1 shows the most relevant investigations in terms of their impact, where study situations are reported in the logistics part similar to the present case study, which of the following can be highlighted:

Previous studies such as the one shown in [3] report the state of the art of Green Logistics, reporting 115 articles between the years 1990 to 2015, where they mention the history of applications made in GL, since this study has a time cut limited to 2015, an exhaustive documentary review was carried out, of which 64 publications related to the subject were found, and only 16 are related to the present investigation, the ones that can be seen in table 1 and as a reference, we can mention that Green Logistics is a subject applied mainly in the Asian continent, and the reported case study has not provided information to the citrus sector so far; that is, there are previous studies that describe research in similar sectors, but still there is a vast area of opportunity in terms of the sector of this case study. Also, one of the most used variables in terms of GL is the reduction of gas emissions that affect the environment, taking into account problems of a different nature than logistics.

The problems of the publications that have been previously reported are found in figure 1, where the main objectives of GL are shown, the ones that cover three important aspects: the economic, environmental and social issues; which are also known as the triple bottom line, proposed and formulated by [6], [7] and taken up by [3]. Regarding the current publications, we can note that most of these are outlined to inform objectives that follow the previously mentioned trends.

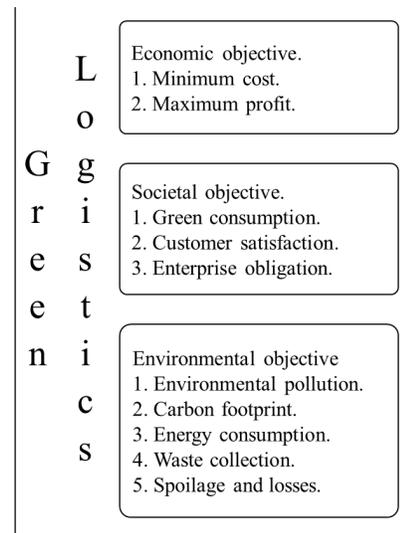


Fig. 1. The objective perspective of GL.

Source: Own design adapted from that presented by [3].

The present thesis is located at the end of Table 1, where the most significant contributions to the state of the art of the topic related to the case study are shown, in addition, it differs by providing information on the application of GL to the citrus industry in Mexico, a topic that until now has been incipient, which shows an important area of opportunity for future research.

TABLE I. MAIN PUBLICATIONS RELATED TO THE AFOREMENTIONED STUDY CASE.

Year	Research topics	Country
2016	A Decision Support System for Optimizing the Last-Mile by Mixing Traditional and Green Logistics. [23]	Canada Italy
2016	Layout planning design: A mathematical-genetic approach for green logistics modeling. [22]	Morocco
2016	Development and implementation of a green logistics-oriented framework for batch process industries: two case studies. [21]	Germany
2017	A Multi-level Framework for Simulating Milk-Run, In-plant Logistics Operations [20]	Poland
2017	Fault-tolerant System Design on Cloud Logistics by Greener Standbys Deployment with Petri Net Model [19]	China-Taiwan
2018	How to Choose the Greenest Delivery Plan: A Framework to Measure Key Performance Indicators for Sustainable Urban Logistics [18]	Spain China
2018	A Green Vehicle Routing Method for the Regional Logistics Center [17]	Thailand
2018	Lean maintenance logistics management: The key to green and sustainable performance [16]	Morocco
2018	RFID Application to Airport Luggage Tracking as a Green Logistics Approach [15]	Morocco
2018	Green logistics under imperfect production system: A Rough age based Multi-Objective Genetic Algorithm approach [14]	India
2018	Greening of humanitarian supply chain with focus on logistics [13]	Pakistan
2019	A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics [12]	China Taiwan

2019	Study on relationship between green logistics activity and logistics performance [11]	China
2020	Inventory management in supply chains with consideration of Logistics, green investment and different carbon emissions policies [10]	Taiwan
2020	Green vehicle routing and scheduling problem with heterogeneous fleet including reverse logistics in the form of collecting returned goods. [9]	Iran
2020	The Green Vehicle Routing Problem from a Smart Logistics Perspective. [8]	China
2021	Green Logistics in a routing optimization problem in the citrus industry in Mexico: Case study in the area of Martínez de la Torre, Veracruz.	Mexico

### III. THE MATHEMATICAL FORMULATION

The proposed study presents a research methodology with a mathematical core proposed by [21] and based on economic data, as well as on the limitations of production capacity per batch, production, shipping and environmental costs, normally used in routing optimization problems. However, for this case study it was necessary to make an adaptation, where ( $W_i$ ) will be added to weigh the weights considering the qualities of the citrus fruits since these are fundamental variables when making shipments.

The objective function described in equation (1) describes the minimization of shipping cost (CE), machining cost (CM) of batch, where  $Y_i$  symbolizes each destination, taking into account the specific weight assigned by  $W_i$  and the total carbon emissions  $E_j$ .

Equation (2) expresses the constant price of each batch machined in the company ( $CM_{ji}$ ), since costs vary in shipping costs (except in cases of special orders). Finally, equation (3) symbolizes the non-negativity constraint.

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (W_i CE_{ji} CM_j) Y_i + E_j \quad (1)$$

subject to

$$CM_{ji} = 3396 \quad (2)$$

$$W_i, CE_{ji}, CP_j, E_{kj} \geq 0 \quad (3)$$

Where

$W_i$  = Weight of the destination, defined by the required quality of citrus.

$CE_{ji}$  = Cost of shipping batch  $j$  to the destination  $i$ .

$CM_j$  = Manufacturing batch cost  $j$ .

$E_j$  = Total CO<sub>2</sub> emissions from shipment of batch  $j$  to destination

In the present research, an application was made in a case study, which was developed in the Vela Organic Company, which is described below:

### IV. DESCRIPTION OF THE CASE STUDY.

This case study focuses on Vela Organic Company, which is a SME, dedicated to the machining process of the citrus production for national and foreign sale. In Figure 2, there is a description of the adaptation made to the case study of the citrus supply chain presented by [24] and taken up for the adaptation of the area of Martínez de la Torre by [25] where the different links are shown from the production in orchards, going through the process of intermediaries, later reaching the processors, where Vela organic company is located; in this section, the process and packaging of several products are carried out so that they can be sent to different markets, where they will finally reach a final consumer.

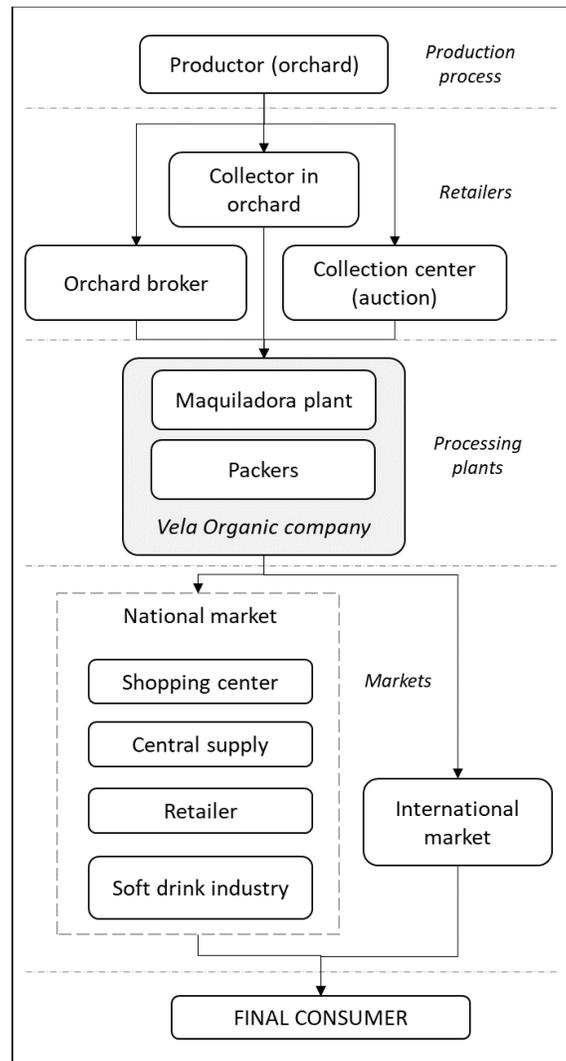


Fig. 2. Contextualization of the supply chain of Vela organic company from Martínez de la Torre, Veracruz, 2021.

Source: Owned design adapted from that presented by [25].

The following is a brief description of the different supply chain processes in the case study.

- *Production process:* Also called orchard or producer, it refers to citrus growers, where Persian lemon, orange, grapefruit and tangerine stand out, which are the main crops of the study area.
- *Retailers:* This section defines the intermediaries that help the citrus fruits to get to the processing companies, as well as the collection centers where the aforementioned fruits are purchased including collectors in orchards and orchard retailers.
- *Processors:* In this section we can find our case study, since it's the sector where the citrus fruits arrive for the maquila or packaging process.
- *Markets:* Where the citrus fruits will get to, but different factors depend on this, such as from the buyer himself to the quality of the product, the standards with which the company complies for its export or the supply capacity, these are some of the factors that define the national or international destination of the product.
- *Final consumer:* It is the last link in this chain, and who will be the one who acquires and consumes the citrus fruits.

According to data provided by Juan Pastrana in [26], the production process of this case study is carried out in batches, these are normally defined by the client, who sends the product to the company for the machining process, these batches are normally placed on 24 pallets which contain 1,440 boxes of approximately 40 pounds each and which would represent a production of approximately 57,600 pounds per batch. In addition to this, there is a production in high season of 16 batches per month and in low season 8 batches per month.

Table II shows the different destinations, merchandise transfer time and their costs. According to the information provided by the production manager, Juan Pastrana [26], which is worth to take into consideration, the citrus fruit intended for export is sent to the cities of Tijuana, the state of Baja California and Matamoros, Tamaulipas, and from these cities the citrus fruits are also sent to the USA; to important cities like Atlanta, Chicago, or Houston, but the latter depends on the foreign buyer.

On the other hand, if the export will be made to Europe, it is sent to the Port of Veracruz for shipment. It should be noted that, for the process of sales abroad, the company that acts as buyer oversees this process, that is to say, the responsibility of Orgánicos Vela in this situation goes to the destination city.

In this way, when the sale is made in the Mexican market, the company oversees delivering the product to the destination city, among which are included the cities of Guadalajara, Tijuana, Matamoros, Monterrey, CDMX, Veracruz port.

Destination	Shipping time	Shipping cost	Distance (road)	Quality
Tijuana	12 hours	\$90000	3040 km	1 <sup>st</sup>
Matamoros	8 hours	\$36000	800 km	1 <sup>st</sup>
Monterrey	7 hours	\$30000	817 km	1 <sup>st</sup> y 2 <sup>nd</sup>
CDMX	6 hours	\$28000	325 km	1 <sup>st</sup> y 2 <sup>nd</sup>
Veracruz puerto	3 hours	\$15000	220 km	1 <sup>st</sup> y 2 <sup>nd</sup>
Guadalajara	9 hours	\$45000	825 km	1 <sup>st</sup> y 2 <sup>nd</sup>
Querétaro	6 hours	\$30000	495 km	1 <sup>st</sup> y 2 <sup>nd</sup>

#### A. Production process.

The citrus maquila process focuses on the quality of these, therefore there are two quality decisions throughout the process, although quality is an important aspect, it is not the only relevant one during the process. Figure 3 shows the citrus machining production process diagram of Vela organic company, where it is divided into two specific areas:

- Dirty area:* Named like this because it contains the processes of entry and reception of citrus fruits, for their accommodation in the cellar to begin the process in the rest area where it goes to the first manual selection process, this is carried out by 4 people, where they exclude the waste of the process, which passes to an outlet for its transfer to a defined place for compost.
- Clean área:* Defined this way because it is divided by hygiene and health issues from the previous one, here the washing process with organic soap begins, to reach the disinfection process with Sodium hypochlorite at 13%, where with the help of rollers and water is rinsed off. Then, it comes to the pre-drying process by means of rollers called "draining". After that, it goes to the waxing sub-process, where it goes to the second selection process, this is divided into two selections, the first, where a sorting machine separates by sizes, the so-called first and second quality, which are classified for its export or otherwise, its national sale respectively. Finally, regardless of the category it belongs to, the citrus fruits go to the packaging sub-process, where they are placed in 40-pound boxes and organized on pallets of 40 boxes in order to place them in the exit boxes where they will be loaded in the delivery transport units to be sent to different destinations.

TABLE II. SHIPPING MATRIX, SHIPPING TIME, COST, DISTANCE AND REQUIRED CITRUS QUALITY.

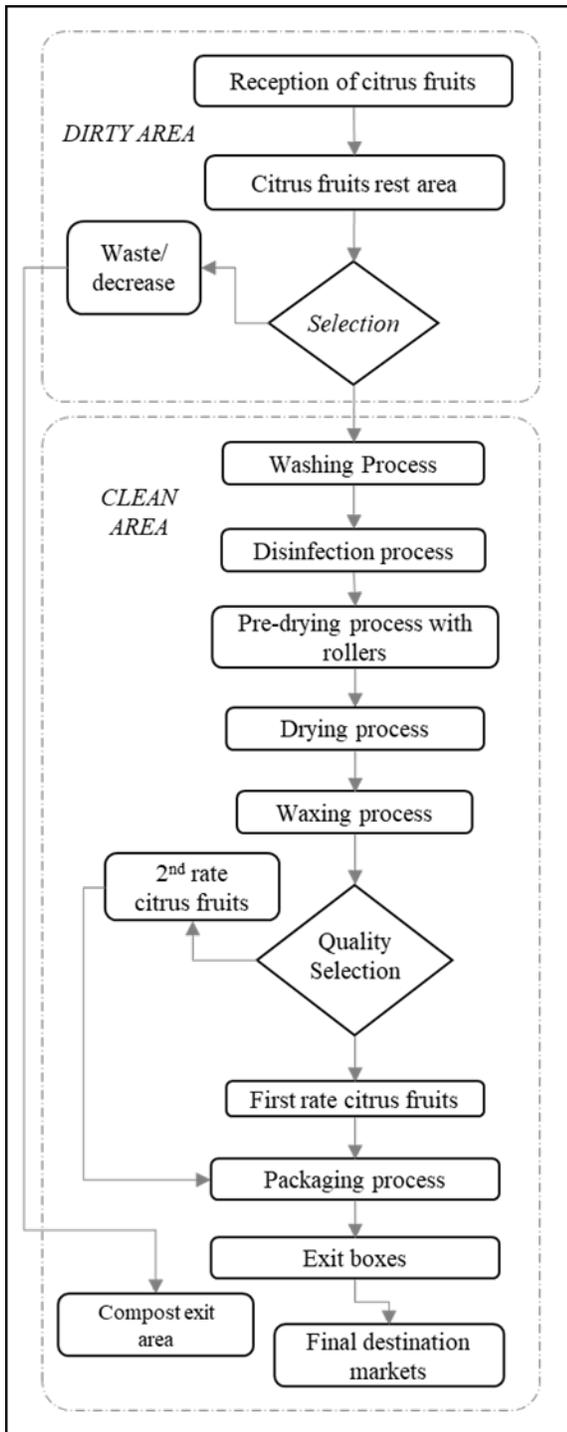


Fig. 3. Citrus machining production process diagram of Vela organic company from Martínez de la Torre company, Veracruz, 2021.

Source: Own design made from [26].

### B. Production costs

As for production costs, a very important factor must be taken into account, basically when the machining process is done, a type of production is carried out per batch, this is something common, as mentioned by [26], moreover, the inputs used are calculated per batch. The following table III describes the input

costs for a production batch of 24 pallets with 60 boxes of 40 pounds each.

TABLE III. TABLE OF INPUTS AND PRODUCTION COSTS.

INPUTS	QUANTITY	COST
Maintenance cost	NA	\$500
Decomex wax	20 liters	\$600
Organic soap	1 liter	\$26
13 % sodium hypochlorite	250 ml	\$10
Stationery	NA	\$100
LP gas	30 liters	\$360
Water	1000 liters	\$300
Copper wire	90 meters	\$900
Strip	15 kilos	\$600
Production cost per batch		\$3396

Carbon dioxide emissions is another important element to take into consideration since it is a fundamental factor that occurs in Green Logistics. And for the purpose of this case study, these emissions were calculated by using the technique shown in [27]

### V. IMPLEMENTATION, RESULTS AND DISCUSSIONS.

As freight transport typically accounts for 80-90% of logistics-related carbon emissions, it is hardly surprising that it is the main focus of carbon-mitigation efforts. These efforts can be targeted on five key parameters. [29]

- *Freight transport intensity*: this is the ratio of freight movement (usually expressed as tonnekms) to economic output.
- *Freight modal split*: this indicates the proportion of freight carried by different transport modes and can be expressed as the ratio of tonne-kms carried by more carbon-intensive modes such as road and air to tonne-kms carried by greener modes like rail, barge, ship and pipeline.
- *Vehicle utilization*: this can be measured by the ratio of vehicle-kms to tonne-kms, in other words how much vehicle traffic is required to handle a given amount of freight movement. If the vehicles are well-loaded on outbound and return journeys this ratio is minimized.
- *Energy efficiency*: defined as the ratio of energy consumed to vehicle-kms travelled. It is a function mainly of vehicle characteristics, driving behaviour and traffic conditions.
- *Carbon intensity of the energy source*: i.e. the amount of CO<sub>2</sub> emitted per unit of energy consumed either directly by the vehicle or indirectly at the primary energy source for electrically powered freight transport operations.

The mathematical model was solved by linear programming. All calculations have been made with an optimization package program called LINGO 10.0 which was run on a Windows 10 professional. Machine with CORE i3 2.6 GHz and 8 GB of RAM.

TABLE IV. PROGRAMMING MODEL RESULTS IN LINGO.

Destination markets (i)	Supply priority
Tijuana	7
Matamoros	6
Monterrey	3
CDMX	1
Veracruz puerto	2
Querétaro	4
Guadalajara	5

Table IV was obtained as a result of the modeling of different scenarios where supply becomes a priority and where the commercial destinations are also organized so that the production and shipping costs, citrus quality can be considered as important elements for the care of carbon emissions mainly. These destinations allow the programming system to get the best shipping routes and optimize the aforementioned elements as well. Fig. 4, shows a graph diagram of our case study, which was also used for the organization of the mathematical modeling.

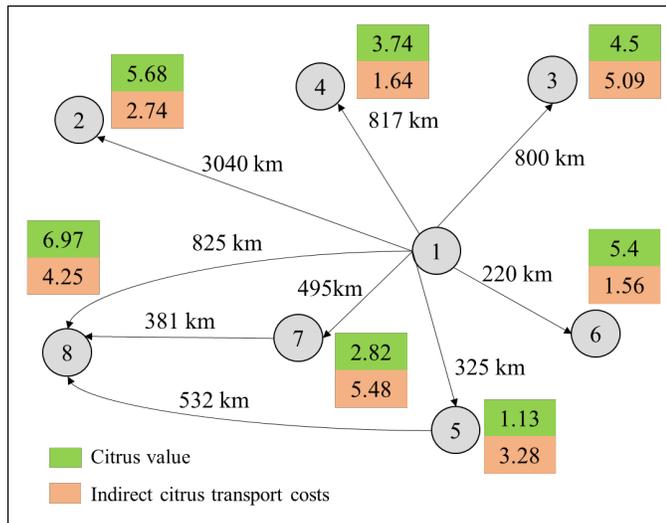


Fig. 4. Graph diagram of the case study.  
Source: Own elaboration based on [26]

## VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK.

The selection of an optimal route is a complex problem that generally involves particular criteria related to the interests of the decision-maker, however, this information is also usually a problem due to scarcity, outdated, or absence. In the information review, it was observed that there is a vast number of models and solution methods but these vary according to the needs or the approach that the author wishes to express and the solution of the method used. When taking into account both

environmental factors and the evaluation of cost variables makes for this case study to be aware that Vela organic company should make its sales to its closest markets, since this will ensure to minimize the costs of shipping and the CO<sub>2</sub> emissions produced by the shipment of goods at the same time.

Future research work will focus on the fact that by 2047, the year of greatest incidence of a paradigm shift of Generation Z in Industry 4.0, each tender that requires detailing the side effect of environmental impact (and therefore Green Logistics) can be performed by an intelligent system using multi-criteria analysis.

All this with the purpose of obtaining the best option of an alternative in a set of parts that supply resolution possibilities or the transfer of perishable goods such as citrus variants, where decision making is decisive for its adequate solution, as can be seen in the following Fig. 5.



Fig. 5. Conceptual diagram of an Intelligent Model of a component supply model associated with Industry 4.0.

Source: Created in Unity; Based on thesis Bachelor, (Diego Hurtado & Peter Savier, 2021).

The decision-making in this century will allow generation Z to be extended to societies with a specific competitive value such as Brunei, Chuuk, East Timor, Rapa Nui, Ryukiu, Sarawak and Tuva that will have more token capital with a combination of low population and diverse natural resources. Manual labor or traditional manufacturing will generate valuable cultural artifacts like a French poodle made with balloons, and of which there will be no mass production, something that will be an avant-garde model for Gen Z and their descendants.

Finally, our future work will explore the use and application of other techniques to find the minimum criteria necessary to select the optimal IIoT platform, applying machine learning techniques and data analysis. In addition, we plan to expand the acquisition of data from different experts around the world in the functions mentioned above. This is planned to be achieved by publishing a tool that can be accessed through a web browser to collect the importance of each criterion in the peer comparison.

## VII. REFERENCES

- [1] P. R. Murphy y R. F. Poist, «Green Logistics Strategies: An Analysis of Usage Patterns,» *Transportation Journal*, vol. 40, n° 2, pp. 5-16,

- 2000.
- [2] Z. Zhou, S. Cheng y B. Hua, «Supply chain optimization of continuous process industries with sustainability considerations,» *Computers & Chemical Engineering*, vol. 24, pp. 1151-1158, 2000.
- [3] S. Zhang, C. Lee, H. K. Chan, K. L. Choy y Z. Wu, «Swarm intelligence applied in Green Logistics: A literature review,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 37, pp. 154-169, 2015.
- [4] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación*, México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- [5] P. Mayring, «A companion to qualitative research,» *Qualitative content analysis*, pp. 266-269, 2004.
- [6] T. Dyllick y K. Hockerts, «Beyond the business case for corporate sustainability,» *Special Issue: Sustainability at the Millennium: Globalization, Competitiveness & Public Trust.*, vol. 11, n° 2, pp. 130-141, 2002.
- [7] J. Elkington, «Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business,» *Environmental Quality Management*, vol. 8, n° 1, pp. 37-51, 2007.
- [8] Y. Su y Q.-M. Fan, «The Green Vehicle Routing Problem from a Smart Logistics Perspective,» *IEEE Access*, vol. 8, pp. 839 - 846, 2019.
- [9] A. F. Reza, R. Javad y M. Iraj, «Green vehicle routing and scheduling problem with heterogeneous fleet including reverse logistics in the form of collecting returned goods,» *Applied Soft Computing*, vol. 94, pp. 1-42, 2020.
- [10] H. Yeu-Shiang, F. Chih-Chiang y L. Ying-An, «Inventory management in supply chains with consideration of Logistics, green investment and different carbon emissions policies,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 139, pp. 1-16, 2020.
- [11] X. Wang, «Study on relationship between Green Logistics activity and logistics performance,» *Cluster Comput*, vol. 22, p. 6579-6588, 2019.
- [12] Y. Li, M. K. Lim y M.-L. Tseng, «A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics,» *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, n° 3, pp. 473-494, 2019.
- [13] A. Jilani, A. Yousaf y W. K. Muhammad, «Greening of humanitarian supply chain with focus on logistics,» *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling (IJBPSM)*, vol. 10, n° 1, 2018.
- [14] M. De, D. Barun y M. Maiti, «Green Logistics under imperfect production system: A Rough age based Multi-Objective Genetic Algorithm approach,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 113, pp. 100-113, 2018.
- [15] Y. Rouchdi, A. Haibi, K. El Yassini, M. Boulmalf y K. Oufaska, «RFID Application to Airport Luggage Tracking as a Green Logistics Approach,» *2018 IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, pp. 642-649, 2018.
- [16] S. Hammadi y B. Herrou, «Lean maintenance logistics management: The key to green and sustainable performance,» *4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, pp. 1-6, 2018.
- [17] J.-D. Leu, A. Krischke, Y.-P. Lee, L. J.-H. Lee y Y.-W. Huang, «A Green Vehicle Routing Method for the Regional Logistics Center,» *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, pp. 71-75, 2018.
- [18] A. Giret, V. Julián, J. M. Corchado, A. Fernández, M. A. Salido y D. Tang, «How to Choose the Greenest Delivery Plan: A Framework to Measure Key Performance Indicators for Sustainable Urban Logistics,» *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, vol. 536, pp. 181-189, 2018.
- [19] F.-C. Jiang y C.-H. Hsu, «Fault-tolerant system design on cloud logistics by greener standbys deployment with Petri net model,» *Neurocomputing*, vol. 256, pp. 90-100, 2017.
- [20] A. G. Greenwood, K. Kluska y P. Pawlewski, «A Multi-level Framework for Simulating Milk-Run, In-plant Logistics Operations,» *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, pp. 209-220, 2017.
- [21] N. M. El-Berishy y B. Scholz-Reiter, «Development and implementation of a Green Logistics-oriented framework for batch process industries: two case studies,» *Logist. Res.*, vol. IX, n° 9, pp. 1-10, 2016.
- [22] S. H. Amar y A. Abouabdellah, «Layout planning design: A mathematical-genetic approach for Green Logistics modeling,» *International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, pp. 1-7, 2016.
- [23] G. Perboli y M. Rosano, «A Decision Support System for Optimizing the Last-Mile by Mixing Traditional and Green Logistics,» *International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, vol. 262, pp. 28-46, 2016.
- [24] FUNPROVER, «Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Productiva del Limón Persa en el Estado de Veracruz,» *Colegio de Postgraduados, Tepetates, Veracruz*, 2003.
- [25] G. Fernández-Lambert, A. A. Aguilar-Lasserre, G. Martínez-Castellanos, M. L. G. Ruvalcaba-Sánchez y J. G. Correa-Medina, «Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa,» *Conciencia Tecnológica*, n° 50, pp. 21-31, 2015.
- [26] J. Pastrana, Interviewee, Jefe de producción de Orgánicos Vela. [Entrevista]. 22 05 2021.
- [27] Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del cambio climático, «Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero,» *Oficina Catalana del canvi climatic, Barcelona*, 2011.
- [28] J. H. Restrepo y J. J. Sanchez, «Aplicación de la teoría de grafos y el algoritmo de Dijkstra para determinar las distancias y las rutas más cortas en una ciudad,» *Scientia Et Technica*, vol. X, n° 26, pp. 121-126, 2004.
- [29] A. McKinnon, «Green Logistics,» de Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom, 2010.



## **Modelo de preselección de los aspirantes de la policía en México, por medio de la evaluación de control de confianza en línea**

Luis Manuel Salazar García, Iván Garza Greaves,  
Pedro Henoc Ireta Sánchez, María Magdalena Reyes Gallegos  
y Jesús Carlos Carmona Frausto

# Modelo de preselección de los aspirantes de la Policía en México, por medio de la evaluación de control de confianza en línea

Luis Manuel Salazar García, Iván Garza Greaves,  
Pedro Henoc Ireta Sánchez, María Magdalena Reyes Gallegos y Jesús Carlos Carmona Frausto

**Resumen:** Actualmente el país se enfrenta a un grave problema de inseguridad en todo el territorio nacional, las estrategias de prevención del delito se han aplicado en distintas formas, y una de ellas es la de evaluar a todos los elementos de seguridad pública del país, por medio de pruebas exhaustivas para medir su capacidad y sobre todo el nivel de confianza de éstos con la ciudadanía. El examen de control de confianza implementado en México, se compone de cinco evaluaciones; Médica (el elemento tiene la capacidad física necesaria para realizar sus funciones), Toxicológica (no consumir drogas), Psicológica (estabilidad emocional), Socioeconómica (congruencia de sus ingresos contra su patrimonio) y Poligráfica (verdad en sus declaraciones), las cuales contribuyen a verificar que el personal contratado y puesto en activo actúe dentro del marco de conducta que dicta la normatividad institucional. El proceso de preselección de los aspirantes a policía actualmente es tardado y costoso, ya que son presentados para su evaluación cientos de aspirantes y solo el 20% resultan aptos para los vacantes disponibles. En el presente modelo se implementa una estrategia eficiente para optimizar dicho proceso. El modelo consta de un proceso de evaluación en línea, que permite realizar evaluaciones simultáneas en toda una entidad federativa, utilizando tecnología de reconocimiento facial, aplicación de tests psicológicos y pruebas con reactivos relacionados a nivel de riesgo, generando un seguimiento por medio de tableros de control. Como resultado en la implementación del modelo, muestra un aumento de evaluaciones realizadas en un 123%, minimizando el costo de preselección, ya que las evaluaciones no se realizan en las instalaciones del Centro Evaluador, filtrando de forma automática, sólo a los elementos que cumplen con los perfiles establecidos, así como la generación de bases de datos de información para el proceso de investigación en la etapa de entrevista presencial (después de preselección).

**Palabras Clave:** Control de Confianza y Evaluación en línea.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el proceso de evaluación de Control de Confianza en el país, no cuenta con una estructura integral, por lo cual, no cumple con la eficiencia requerida, ya que realizan esfuerzos para valorar a cientos de aspirantes en cada entidad Federativa, que en muchos de los casos desde sus orígenes y sus condiciones, no son aptos para ser contratados, generando esfuerzos innecesarios en el proceso de evaluación y el costo económico que representa dichas evaluaciones.

Este mismo proceso de selección de aspirantes a policía varía en cada país, como por ejemplo **CHILE**, realiza pruebas excluyentes y 1 examen psicológico, tomando en cuenta criterios específicos sobre las características de los elementos; **PARAGUAY**, realiza exámenes médicos y físicos, así como de investigación de antecedentes; la **policía de Nueva York** es conocida por ser la mayor fuerza policial de Estados Unidos, con más de 34,500 elementos adscritos, encargados de la vigilancia y protección de 5 boroughs (municipios), realizan entrevistas de pre contratación, examen médico, tests Psicológico, Job Standard Test (pruebas físicas) e investigación general. Valencia, C. (2016) [1].

Estos países aplican exámenes exhaustivos según su necesidad, pero no hay referencia que realicen pruebas de preselección en línea, la cual permitirá aumentar la efectividad del proceso y generar una base de datos para el proceso mismo de evaluación.

El problema radica en evaluaciones presenciales costosas y tardadas, invirtiendo demasiado tiempo y

desgaste en la línea de producción, generando incumplimientos en las metas establecidas en el proceso de reclutamiento.

En el presente artículo se muestra el Método basado en el estudio del trabajo y aplicación de mecanismos de evaluación por medio de un proceso a distancia, generando aumento en la productividad en la cantidad de evaluaciones, así como el proceso de seguridad establecido para dar certeza a las respuestas por parte de los elementos.

El modelo consta de un conjunto de procesos que generan una estructura adecuada a la aplicación de las evaluaciones a distancia y de forma secuencial, proporcionando los medios necesarios para validar el proceso, obteniendo los resultados esperados.

Los procesos importantes del modelo se describen a continuación:

\* **PRESELECCIÓN:** Determina las pruebas que puedan ser aplicadas en línea y que proporcionen un método de preselección efectivo, para posteriormente continuar con la evaluación presencial, sólo a los aspirantes con posibilidades de aceptación.

\* **ASEGURAMIENTO DE IDENTIDAD Y PERMANENCIA.** Asegura que el usuario que fue registrado en la solicitud de evaluación, sea el mismo que haga su proceso en línea y permanezca en la sesión activa.

\* **CONFIGURACIÓN DE REACTIVOS:** Formularios con respuestas sugeridas que están relacionados a los niveles de riesgo establecidos para generar el cálculo matemático correspondiente.

\* **RESPUESTAS ABIERTAS:** Permite la búsqueda de patrones relacionados a información que pueda aportar datos relevantes para la investigación.

\* **TEST PSICOLÓGICOS EN LÍNEA.** Permite por medio de un asistente, contestar los reactivos de tests psicológicos de personalidad e inteligencia del evaluado.

\* **PERFIL ELECTRÓNICO DEL EVALUADO.** Toda la información presentada por parte de la evaluación es plasmada en un informe integral sobre el perfil del aspirante.

El presente modelo genera ahorro en tiempo, recursos y esfuerzos, obteniendo resultados más rápidos. Los resultados obtenidos generan evaluaciones más del doble del proceso ordinario, generando costos mínimos en la etapa de preselección, proporcionando información de inteligencia en las siguientes etapas de la evaluación de los elementos.

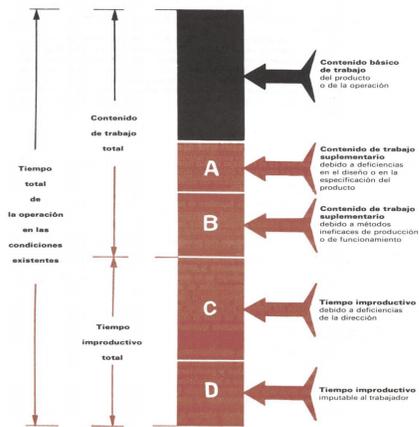
El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: La sección 2 describe los fundamentos teóricos, los cuales incluyen el modelo del estudio del trabajo, el aseguramiento de identidad de acceso y permanencia en la sesión en línea, la valoración del personal seleccionado, la Psicometría de personalidad y los tableros de seguimiento, la sección 3 describe la metodología aplicada, la sección 4 presenta los resultados y finalmente, la sección 5 presenta conclusiones y trabajo futuro.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En la construcción del presente modelo, se aplicaron distintas teorías de análisis de procesos, que permitieron analizar mejor el problema y las variables más importantes, para la búsqueda de soluciones y la creación de etapas de ejecución, que generaren un modelo nuevo de operación para la preselección en línea de elementos de seguridad aspirantes al puesto. A continuación, se mencionarán dichas teorías.

### A. ESTUDIO DEL TRABAJO.

Se aplicaron las técnicas básicas del modelo del estudio del trabajo, que como lo comenta García Criollo, en su libro Ingeniería de Métodos [2], donde dice que el estudio del trabajo es la técnica que tiene como objetivo aumentar la productividad del trabajo mediante la eliminación de todos los desperdicios de materiales, tiempo y esfuerzo, además, procurar hacer más fácil y lucrativa cada tarea, aumentando la calidad de los procesos poniéndolos al alcance del mayor número de consumidores.



**Fig. 1** Modelo General del Estudio del Trabajo

Con esta técnica pudimos demostrar que el proceso ordinario de preselección es poco eficiente y requiere de mucho esfuerzo y tiempo por parte de los involucrados.

Para tener claro el proceso e identificar las áreas de oportunidad, se utilizaron las listas de verificación que se proponen por parte de Niebel-Freivalds [3], de su libro Ingeniería industrial, métodos, estándar y diseño del trabajo; que permitieron ir modificando cada proceso en la línea de producción.

Para concluir el modelo se aplicaron las técnicas para la solución de problemas y análisis de operación de Benjamin W. Niebel, Andris Freivalds [4], que permite presentar el modelo terminado para su puesta en marcha.

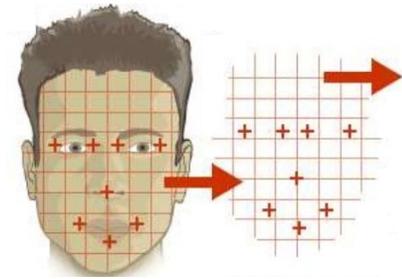
## **B. ASEGURAMIENTO DE IDENTIDAD EN ACCESO Y PERMANENCIA EN LA SESIÓN EN LÍNEA.**

En un proceso de evaluación de personal en línea, se tienen muchas ventajas, las cuales permiten mejorar los tiempos de respuesta para un proceso de selección, ya que se pueden llevar a cabo evaluaciones de forma simultánea en distintas partes del territorio en tiempo real, optimizando la infraestructura de equipos de cómputo. Por lo que se ha formulado la siguiente pregunta:

**¿Cómo se puede asegurar que la persona que está frente a la computadora, sea la persona a evaluar y este registrando las respuestas adecuadamente?**

Para solucionar este problema, se implementó programas especializados en reconocimiento facial, el cual, habilita la seguridad de reconocer al evaluado que previamente había presentado su documentación y había sido enrolado por medio de la toma de fotografía de su rostro de frente.

El reconocimiento facial por video, es una técnica probada y es utilizada en diversas funcionalidades en la telefonía celular, operaciones bancarias y en la presentación de exámenes en línea.



**Fig. 2** Esquema de reconocimiento facial por Eigenfaces

La aplicación de detección facial por Eigenfaces [5] funciona reconociendo al usuario que se presenta ante la cámara y el sistema hace una comparación con todos los registros existentes en la base de datos, en este caso relacionándolo con el aspirante en su examen en línea.

Tanto en la etapa de registro como en la etapa de reconocimiento, utilizan “monitoreos” de reconocimiento facial para detectar si la persona fue cambiada por otro rostro al momento de contestar los reactivos o si ya no se encuentra presente en la sesión abierta por parte del usuario.

## **C. VALORACIÓN DEL PERSONAL SELECCIONADO.**

En todo proceso de preselección, es necesario identificar el perfil requerido, relacionado a la o las vacantes disponibles; son los parámetros que se toman en cuenta para ejecutar la línea comparativa.

Es muy importante ejecutar el proceso operativo de registro y búsqueda de perfiles basado en la

selección de personal. Según Ruano [6] (citado en S. Agreda Arteaga, 2014), menciona que la selección de personal “Es un proceso mediante el cual la organización se encarga de atraer candidatos calificados con el perfil adecuado para los puestos vacantes” (p.69); estos elementos estarán relacionados a una presentación de solicitud que requieren ciertos requisitos que se deberán de cumplir para el inicio de su evaluación y que formen parte de los parámetros a comparar con los resultados de los aspirantes.

#### **D. PSICOMETRÍA DE PERSONALIDAD**

Como en un proceso ordinario de selección de personal, son aplicados pruebas psicológicas para conocer información personal del perfil del evaluado. En el presente modelo se implementan este tipo de pruebas basados en un modelo asistido por computadora, donde el elemento puede contestar reactivos específicos, que permiten conocer sus valores en cada una de las respuestas seleccionadas.

Si bien las computadoras han impactado en diferentes esferas de nuestras vidas, la psicología no es ajena a ello. De este modo, en 1971 se crea la Society for Computers in Psychology, cuyo propósito principal es incrementar y difundir el conocimiento sobre el uso de la computadora en la investigación psicológica. Dicha sociedad se ha centrado en desarrollar temas como: modelos computacionales sobre el procesamiento cognitivo y la conducta, herramientas computacionales para el análisis y la recolección de datos, interacción persona – computador, representación del conocimiento en humanos y máquinas, aprendizaje de máquinas, métodos y herramientas para la investigación basada en internet y uso de la tecnología para mejorar la evaluación, donde el proceso psicométrico puede ser aplicado de forma transparente, relacionado de un proceso presencial, así como un proceso en línea basado en una evaluación psicométrica asistida por computadora. Weiss, J. (2013) [7].

#### **E. TABLEROS DE SEGUIMIENTO**

Para cualquier proceso sistematizado, es necesario y fundamental, el seguimiento en tiempo real de las operaciones, ya que por medio de la valoración de los indicadores implementados, se podrá contar con información oportuna para la toma de decisiones. Los tableros de indicadores pueden ser implementados en cualquier proceso, el cual está incluido en el presente modelo como una herramienta primordial.

Según Álvarez Cruz, N. (2012). [8], el Tablero de comando es una excelente herramienta de dirección para el proceso que se esté midiendo, es por este motivo que al tener evaluaciones simultáneas, en distintos puntos del territorio, generando información en tiempo real del registro de información y la contestación de cada uno de los reactivos de las pruebas aplicadas, debe de existir el perfil de supervisión del proceso de preselección en línea, el cual, da seguimiento de forma particular o masiva a las evaluaciones activas, generando el registro de observaciones y alertamientos necesarios en el comportamiento de los evaluados y sus respuestas.

### **III. METODOLOGÍA.**

La metodología de operación del presente modelo cuida de forma detallada cada fase de trabajo, la cual tiene su objetivo específico y a su vez, aporta al proceso integral al resultado final.

Su objetivo general es el de identificar a los elementos con amplias posibilidades de resultar aptos en el proceso de evaluación, desechando de una forma anticipada a los elementos que no lo son, de tal forma que se aplicaría sólo esfuerzo a los elementos seleccionados de forma automática, generando un ahorro de tiempo, refuerzo y recursos.

Consta de 3 fases, cada fase tiene su proceso de registro y validación de la información, la cual, recae en los tableros de indicadores que permiten ir valorando la información en tiempo real.

El diagrama general de modelo es el siguiente:

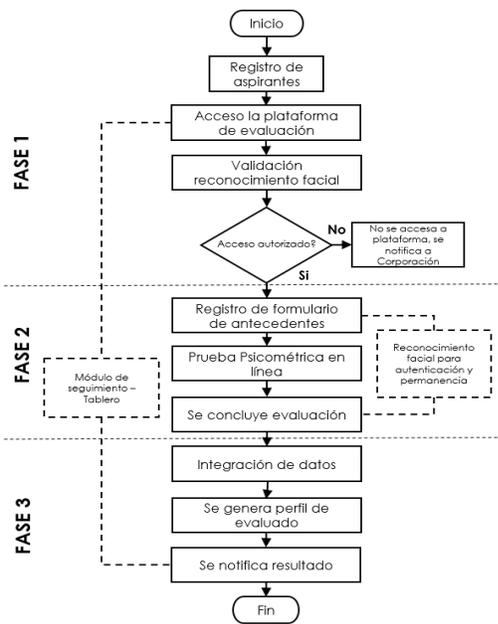


Fig. 3 Modelo de preselección en línea para la evaluación de control de confianza

El presente modelo está integrado por 3 fases de trabajo que se describen a continuación:

**FASE 1:** El objetivo de esta fase es el de registro e identificación del aspirante, el cual, se registran sus datos personales y el registro de sus rasgos faciales por medio de una fotografía de frente, misma que estará registrada en la base de datos para la validación al momento de tener acceso a la plataforma de captura.

Las evaluaciones en línea deben de realizarse en equipos que cuenten con acceso a internet y cámara de video que estará activa en todo momento del proceso de evaluación.

Una vez que el elemento accesa a la plataforma, es validado su usuario y contraseña, así como reconocimiento facial por medio de la cámara.

Al llevarse a cabo la validación del elemento, podrá ser identificado con el registro inicial y dará acceso al proceso de evaluación. En el caso que no exista una referencial en la base de datos de su rostro, será notificado en pantalla al usuario y no se dará acceso

al proceso. Al llegar a cualquiera de estas dos opciones, la Fase 1 del modelo habrá cumplido su objetivo.

**FASE 2:** Esta Fase inicia con el proceso de evaluación que detona 3 acciones distintas y de forma simultánea.

Por un lado, se notifica en tiempo real en el tablero de seguimiento los datos del evaluado, mostrando datos personales y de referencial a la Corporación en donde está presentando su evaluación.

La segunda acción es la de reconocimiento facial, la cual se estará activando en todo momento durante la sesión, validando al evaluado. Por una parte, registrará que sea la persona correcta o en su defecto que no existe ninguna persona frente al equipo.

Si cualquiera de estos 2 supuestos ocurriera, se registrará un alertamiento visual en pantalla, generando un cronómetro de tiempo en que alertará del cierre de la sesión si el usuario no resuelve la situación anormal que se está presentando. Estas incidencias se estarán reflejando en tableros de seguimiento.

Y en la tercera acción, son presentados en pantalla los formularios del proceso de evaluación, así como el inicio de las baterías asignadas sobre los Test Psicométricos específicos.

El objetivo de la Fase 2 se verá cumplido, una vez que el elemento ha terminado su proceso de evaluación y no se hayan presentado el límite de incidencias de ausencia identificadas por la cámara.

La sesión estará sujeta a tiempos establecidos, de tal forma que si el evaluado no ha terminado su registro de información, la sesión será cerrada de forma automática una vez que el tiempo ha terminado, registrando solo la información capturada hasta ese momento.

**FASE 3:** Es la última fase del método, la información es procesada por medio de las matrices numéricas de valor que fueron diseñadas para

asignar el porcentaje de riesgo correspondiente a cada elemento evaluado en tiempo real.

El objetivo de esta Fase se cumple al mostrar un sentido detallado sobre las respuestas elegidas de la persona evaluada, aplicando si es apto para continuar con su proceso de evaluación de forma presencial y generar un expediente con el perfil digital tomando en cuenta su valoración contra el perfil solicitado para el cumplimiento del puesto.

Dentro del proceso de valoración se crearon matrices de información que permite valorar el nivel de riesgo con que cuenta la persona evaluada, mismos que dependiendo de las respuestas elegidas muestra de una forma automática los indicadores de riesgo basados en el cruce de la información.

REACTIVO	RESPUESTAS				Riesgo acumulado x reactivo
P1	R1	R2	R3	R4	6
	NR-0.2	NR-0.0	NR-0.1	NR-0.3	
P2	R1	R2	R3	R4	4
	NR-0.2	NR-0.0	NR-0.0	NR-0.2	
P3	R1	R2	R3	R4	4
	NR-0.0	NR-0.3	NR-0.0	NR-0.1	
P4	R1	R2	R3	R4	4
	NR-0.2	NR-0.0	NR-0.1	NR-0.1	
P5	R1	R2	R3	R4	7
	NR-0.2	NR-0.3	NR-0.1	NR-0.1	
P6	R1	R2	R3	R4	7
	NR-0.2	NR-0.1	NR-0.4	NR-0.0	
P7	R1	R2	R3	R4	4
	NR-0.2	NR-0.1	NR-0.1	NR-0.0	
P8	R1	R2	R3	R4	8
	NR-0.2	NR-0.3	NR-0.2	NR-0.1	
Riesgo acumulado por formulario:					44

Fig. 4 Matriz de nivel de riesgo

Los valores de riesgo pueden ser simples o compuestos; como un ejemplo de valor de riesgo simple es que el puesto requiere que el elemento mida entre 1.70 y 1.80 metros de altura, si el elemento registra una estatura distinta, el valor de riesgo aumenta.

Un valor de riesgo compuesto se podría ejemplificar donde el elemento registra los ingresos contra sus gastos o bienes adquiridos en fechas específicas, en este apartado se realiza un cruce de información y al no generar una concordancia natural es registrado un valor de riesgo alto.

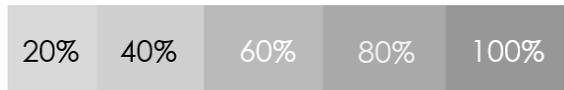


Fig. 5 Nivel de riesgo del evaluado

#### IV. RESULTADOS.

Para analizar los resultados del modelo, se corrieron pruebas simuladas sobre el funcionamiento de proceso de evaluación en todas sus etapas, donde se llevaron a cabo el registro de distintas respuestas con valores de riesgo, generando gráficamente las respuestas positivas que tuvieron los aspirantes en el rango de aceptación.

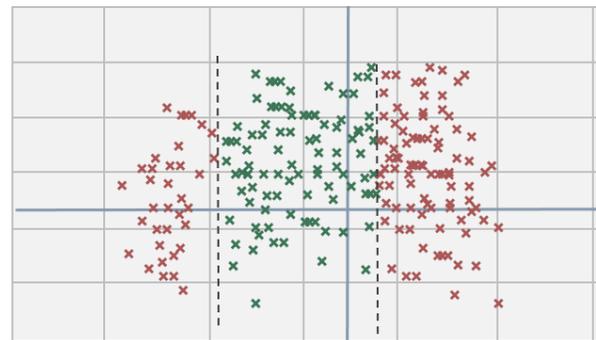
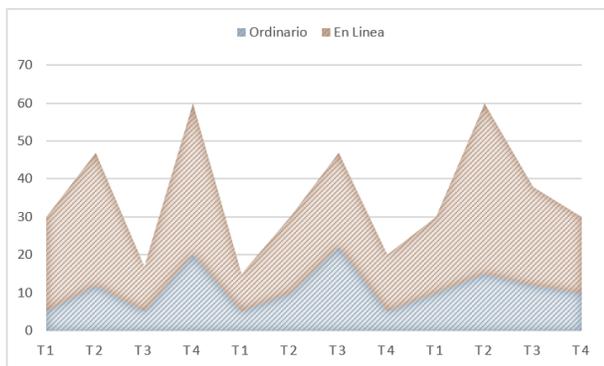


Fig. 6 Gráfica de selección de nivel de riesgo

Los resultados gráficos de las respuestas, nos generan de una forma clara qué resultados fueron favorables y cuales salían de los márgenes marcados como positivos para determinar su resultado.

Tomando en cuenta los parámetros de aceptación podremos fijar un resultado, incluso un análisis más profundo sobre las áreas a las que se deben de tomar en cuenta su valoración posterior en la entrevista a realizarle al elemento. Con respecto a los tiempos marcados en un proceso de preselección entre el proceso ordinario presencial contra los elaborados en línea, se generó un resultado positivo, permitiendo aumentar la productividad respecto al proceso ordinario en un **123%**. Este resultado obedece a las pruebas realizadas para el análisis de modelo, lo cual nos determina que pueda ofrecer aún mejores resultados en el aumento exponencial de solicitudes de evaluaciones realizadas en línea en su puesta en marcha.



**Fig. 7** Evaluaciones Ordinarias vs En Línea

## V. CONCLUSIONES.

El modelo es adecuado para su implementación, ya que cuenta con un método de operación que tiene como premisa el cuidando de la seguridad y veracidad de la evaluación.

El uso de la Tecnología de forma responsable y administrada, contiene acciones implícitas en el aumento de la eficiencia en las operaciones, generando elementos valiosos en ahorros de tiempo, esfuerzo y de recursos.

Este modelo permite sentar las bases de un cambio de paradigma en el proceso de evaluación de los aspirantes a policías del País, ya que el proceso ordinario actual se aplica a nivel nacional y puede ser sustituido a un esquema modernizado y robusto basado en el presente modelo.

Por otro lado este problema puede presentarse también en el proceso de selección de personal hacia una empresa u organización con altos requerimientos de contrataciones, donde al lanzar convocatorias masivas, reciben cientos de solicitudes que por origen, no cumplirían el perfil requerido, pero al no conocer dicha información, se ejecutan acciones costosas y complejas. Este modelo podría aplicar para simplificar el proceso de preselección con excelentes resultados.

## AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece al Centro de Evaluación y Control de Confianza del Estado de Coahuila por el apoyo brindado para esta investigación. Al Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Ciudad Victoria por el apoyo recibido para la realización de los estudios de maestría y al CONACYT por la beca recibida.

## REFERENCIAS

- [1] Valencia García, Camilo. The recruitment Process of the mexican police in an international context. México 2016. ISSN: 2007-2023
- [2] García Criollo, Roberto, Ingeniería de Métodos, Estudio del trabajo, Ed. McGraw Hill, 1998.
- [3] Niebel-Freivalds. Ingeniería industrial, métodos, estándar y diseño del trabajo. Editorial Alfaomega. 12ª. Edición.
- [4] Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo. Benjamin W. Niebel, Andris Freivalds. Mc. Graw Hill. Año 2009, México, D.F.
- [5] Alberto, and Jerónimo Ríos. 2017. "Reconocimiento Facial Por El Método De Eigenfaces." Pistas Educativas 127 (04): 66–81.
- [6] Agreda Arteaga, S. (2014). Nuevos retos en el Reclutamiento y selección de personal. Boletín Informativo CEI, 74.
- [7] Weiss, J. (2013). Item banking, test development, and test delivery. En K. F. Geisinger (Ed.), APA Handbook of testing and assessment in psychology. Volume 1: Test theory and testing and assessment in industrial and organizational psychology (pp. 185-200). Washington, D. C.: American Psychological Association.
- [8] Alvarez Cruz, N. (2012). "El tablero de comando como herramienta de dirección", EAE Editorial Academia Española.

Se terminó de editar en Ciudad Obregón, Sonora;  
el 17 de agosto de 2022,  
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**<sup>®</sup>  
Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro, A.C



