

Innovación organizacional y sostenibilidad: Estrategias para el crecimiento de las PYMES en México

Por Héctor Rivera Gómez (et. al.)

**Innovación organizacional y sostenibilidad:
Estrategias para el crecimiento de las PYMES en México**

**Innovación organizacional y sostenibilidad:
Estrategias para el crecimiento de las PYMES en México**

Héctor Rivera Gómez
Jaime Garnica Gonzales
(coordinadores)

EN PÁGINA PAR

Dra. Alejandra Gómez-Padilla
Universidad de Guadalajara, Guadalajara

Dr. Joan Esteban Moreno Hernández
Institución Universitaria de Envigado, Colombia

Dra. Erika Cruz Coria
Universidad Autónoma del Occidente, Sinaloa

Dra. Carmen Julia Navarro Gómez
Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua

Dr. Jorge Carro-Suarez
Universidad Politécnica de Tlaxcala, Tlaxcala

Dra. Susana Sarmiento-Paredes
Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala

Dr. Abel García Villagrán
Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla
Universidad Madero en Puebla, Puebla

Dra. Edith Mendoza Ramírez
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo

Dr. Héctor Rivera-Gómez
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Jaime Garnica González
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Eva Selene Hernández-Gress
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Hidalgo

Dra. Diana Sánchez-Partida
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla

Dr. Santiago-Omar Caballero-Morales
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla

Dra. Patricia Cano Olivos
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla

Dr. José-Luis Martínez-Flores
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla

Dra. María-del-Rosario Sánchez-Vega
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla

Dra. Fannia María Cadena Montes
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dra Silvia Montiel Palma
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Heriberto Niccolas Morales
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Mtro. Ramiro Cadena Uribe
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Humberto Iván Navarro Gómez
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Mtro. Christopher Contreras López
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

María del Refugio González Sandoval
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Gustavo Erick Anaya-Fuentes
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

27. *Oswaldo Antonio Ortega-Reyes*
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. José Ramón Corona-Armenta
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Dr. Oscar Montaña-Arango
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Mtro. Asel Juárez-Vite
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo

Ing. Ind. Rubén Calderón Andrade
Jefe de producción en industrias ISAR, Ciudad de México

EN LEGAL

Los capítulos del libro son resultado de investigaciones desarrolladas por los autores. Los capítulos del libro fueron arbitrados por investigadores miembros del SNII (Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras) de distintas universidades del país bajo el sistema doble ciego.ç

Índice

Prólogo. <i>Lourdes Loza Hernández</i>	7
Introducción.....	9
Parte I. Desafíos y contexto de las PYMES en México.....	14
Capítulo I. Precariedad laboral en México: del neoliberalismo al humanismo. Su impacto en la producción y la sociedad. <i>Fannia María Cadena Montes, Ramiro Cadena Uribe, Silvia Montiel Palma y Heriberto Niccolas Morales</i>	14
Capítulo II. La gestión integrada del agua y su problemática. Caso de estudio en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. <i>Christopher Contreras López, María del Refugio González Sandoval, Carmen Julia Navarro Gómez y Humberto Iván Navarro Gómez</i>	27
Capítulo III. Riesgos en las operaciones de comercio exterior en la cadena de suministro de las PYMES. <i>Patricia Cano Olivos, Abel García Villagrán, Joan Esteban Moreno Hernández y Diana Sánchez Partida</i>	46
Capítulo IV. Cerámica 4.0: la transformación digital del sector cerámico. <i>Jorge Carro Suárez y Susana Sarmiento Paredes</i>	66
Parte II. Analítica descriptiva y estrategias para el crecimiento sostenible de las PYMES	87
Capítulo V. Plan estratégico para una empresa emergente de hospedaje. <i>Erika Cruz Coria, Jaime Garnica González, Edith Mendoza Ramírez y Héctor Rivera Gómez</i>	87
Capítulo VI. Aplicación de técnicas de manufactura esbelta para optimizar el ensamble de chasis de autobuses urbanos. <i>José Ramón Corona Armenta, Aisel Juárez Vite, Óscar Montaña Arango y Héctor Rivera Gómez</i>	104
Capítulo VII. Simulación de eventos discretos: mejora de la productividad en empresas de calzado mexicanas. <i>Rubén Calderón Andrade y Eva Selene Hernández Gress</i>	123
Capítulo VIII. Análisis y simulación del proceso productivo de una PYME mediante una red de Petri estocástica. <i>Gustavo Erik Anaya Fuentes, Alejandra Gómez Padilla, Oswaldo Antonio Ortega Reyes y Héctor Rivera Gómez</i>	148
Capítulo IX. Estrategia para la planeación de inventarios para nuevos productos en una red de centros de distribución y soporte mediante Industria 4.0. <i>Santiago Omar Caballero Morales, José Luis Martínez Flores, Diana Sánchez Partida y María del Rosario Sánchez Vega</i>	174

Prólogo

Los grandes desafíos que los sectores productivos están actualmente enfrentando debido a los requerimientos de competitividad que el mercado global demanda, tales como los riesgos en el comercio internacional, incertidumbre económica, riesgos en las cadenas de suministro, problemas laborales internos, el uso adecuado de los recursos naturales, etc., son determinantes para que las empresas busquen mecanismos para optimizar el uso de sus recursos en todos los procesos que desarrollan.

El mercado global y las condiciones económicas a nivel local, regional, nacional y mundial son factores que se identifican como parte fundamental de los diferentes elementos que determinan el crecimiento de las empresas, por lo tanto, es imperante para el personal que toma decisiones contar con herramientas o métodos cuantitativos que les permitan obtener información confiable para proponer soluciones a los problemas que se presentan en el día a día.

Los coordinadores de este libro forman parte del claustro académico de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo en México y son reconocidos por el Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras por su trayectoria académica y de investigación, así como su amplia experiencia en los temas que se integran en cada uno de los capítulos del documento, por ello su interés en compartir su conocimiento e invitar a otros investigadores a formar parte de este libro para participar como autores y enriquecer y publicar el conocimiento a otros sectores.

En este libro colaboran investigadores y expertos de diferentes universidad públicas y privadas de México y la Institución Universitaria de Envigado, Colombia, quienes abordan temas medulares para el desarrollo y competitividad de las organizaciones que el mercado global demanda hoy en día a nivel estratégico, táctico y operativo. También en este libro, los autores aplican herramientas cuantitativas y cualitativas que soportan soluciones basadas en sustentos teóricos, que facilitan la toma de decisiones de los

actores en las diferentes áreas en las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) principalmente. Lo anterior con el fin de incrementar la productividad de las organizaciones a través del mejoramiento de los procesos que se llevan a cabo en los eslabones de las cadenas de suministro, motivando la innovación y sostenibilidad de las empresas, así como la resiliencia que las organizaciones deben desarrollar para mantenerse dentro del cambiante mercado global para satisfacer los exigentes requerimientos que éste demanda.

Cabe resaltar que en esta obra los casos de estudio que los autores abordan describen solo algunas de las muchas problemáticas que las PYMES locales enfrentan y buscan resolver para permanecer en el mercado; lo cual demuestra la importancia de la aplicación de herramientas y métodos de carácter técnico en la solución a problemas reales. También, estos casos de estudio sirven como referente para mostrar la importancia del uso de herramientas que apoyen en la toma de decisiones a casos de estudio similares.

Por otro lado, el libro contiene en uno de sus capítulos, a diferencia de los demás capítulos que son de carácter técnico, un tema analizado desde un punto de vista socioeconómico y académico, donde se muestran los efectos directos que una política pública tiene en la productividad de las empresas, así como en el bajo crecimiento actual del país; permitiendo comprender los cambios que el país ha sufrido en los últimos años en los ámbitos local, regional y nacional en los distintos sectores.

Este libro está dirigido a todos aquellos que desean profundizar en la aplicación de herramientas, tales como técnicas de manufactura esbelta, simulación de eventos discretos, análisis y simulación de procesos productivo, Industria 4.0, planeación de inventarios, riesgos en las operaciones de comercio exterior en la cadena de suministro de las PYMES, solo por mencionar algunos.

Dra. Lourdes Loza Hernández
Departamento de Postgrado, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México

Introducción

En un entorno globalizado, donde la competencia y la innovación son motores del desarrollo económico, las pequeñas y medianas empresas, PYMES en México enfrentan desafíos cruciales. Estas empresas, que constituyen el 98.7% del total en el país y son responsables de la mayor parte del empleo formal, son pilares fundamentales para el crecimiento económico y la estabilidad social. Sin embargo, su capacidad para sobrevivir y prosperar depende cada vez más de su adaptación a un entorno en constante cambio y altamente competitivo. En este contexto, los estudios organizacionales adquieren una relevancia estratégica. Al combinar principios de organización de la producción y logística con enfoques estratégicos y operativos, las PYMES pueden optimizar procesos, aumentar la eficiencia y fomentar la innovación. Este enfoque no solo asegura la sostenibilidad a largo plazo, sino que también fortalece la resiliencia empresarial ante crisis económicas y fluctuaciones del mercado. Este libro se centra en proporcionar a los líderes de PYMES herramientas y conocimientos clave para transformar sus negocios en motores de desarrollo económico, contribuyendo de manera significativa al crecimiento y sostenibilidad de la economía mexicana. La adopción de estas prácticas es una necesidad imperiosa, así como una oportunidad para que México fortalezca su competitividad en la economía global.

La primera parte del libro referente a los Desafíos y contexto de las PYMES en México aborda los principales retos a los que se enfrentan las PYMES en México, incluyendo la precariedad laboral, los riesgos en operaciones de comercio exterior, y la problemática de la gestión de recursos como el agua. A través de estudios de caso y análisis críticos, se explora cómo estos desafíos impactan la productividad, la sostenibilidad y la competitividad de las PYMES en el contexto mexicano.

El primer capítulo, "Precariedad laboral en México, del neoliberalismo al humanismo. Su impacto en la producción y la sociedad", explora cómo la calidad del trabajo en una

empresa está influida por varios factores, como la ubicación de la planta, los métodos de proceso, las materias primas, la maquinaria y, por supuesto, el personal. Los autores subrayan que descuidar la mano de obra puede perjudicar gravemente la calidad de la producción. El capítulo se centra en analizar cómo la precariedad laboral afecta tanto a la calidad como a la eficiencia de los trabajadores y propone vías para reforzar el capital humano en la industria. Se utilizan métodos de investigación cuantitativos, cualitativos e históricos para analizar en profundidad las condiciones laborales y las tendencias actuales. Los resultados ponen de relieve que invertir en el desarrollo de los trabajadores es clave para el éxito de la industria y, por ende, para el bienestar de la sociedad.

En el segundo capítulo, "La gestión integrada del agua y su problemática: Caso de estudio la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo", se examinan los retos a los que se enfrenta la ciudad de Pachuca en materia de gestión del agua, como la sobreexplotación, la contaminación y las deficientes infraestructuras. La situación se complica aún más por la falta de coordinación entre los distintos agentes que intervienen en la gestión del agua. Este capítulo aborda estos problemas y sugiere soluciones para mejorar la disponibilidad de agua en el acuífero 1508 y la subcuenca del Río de las Avenidas. El propósito es comprender mejor las expectativas de crecimiento regional, promover la resiliencia y fomentar el uso responsable del agua, al tiempo que se destaca la necesidad de garantizar un suministro sostenible.

El tercer capítulo, "Riesgos en las operaciones de comercio exterior en la cadena de suministro de las PYMES", investiga los riesgos que afectan a la exportación e importación de las pequeñas y medianas empresas. Se centra en la selección de proveedores, el valor del producto y la elección del operador logístico internacional. El capítulo examina los factores clave en dos etapas: en origen, donde se consideran aspectos como la elección del proveedor, el valor del producto y el incoterm, y en destino, donde se analizan variables como la normativa aduanera, los aranceles, el IVA y la colaboración con un socio estratégico para el despacho de aduanas y el transporte.

El cuarto capítulo, "Cerámica 4.0: La transformación digital del sector cerámico", se analiza cómo la Industria 4.0 está cambiando la producción, ofreciendo ventajas como una gestión más eficiente de la información y el uso de espacios virtuales. El sector cerámico está adoptando estas tecnologías para seguir siendo competitivo y adaptarse a

las nuevas demandas del mercado. La idea de Cerámica 4.0 se centra en la competitividad, la innovación y el desarrollo sostenible. La gestión eficaz de la cadena de producción es esencial para mantener la calidad y la eficiencia, y este enfoque podría ser una buena referencia para otras industrias que busquen mejorar su competitividad en el futuro.

La segunda parte del libro, “Analítica descriptiva y estrategias para el crecimiento sostenible de las PYMES”, se enfoca en cómo la analítica descriptiva puede ayudar a las pequeñas y medianas empresas a entender mejor sus procesos, tomar decisiones más acertadas y optimizar sus operaciones. Esta sección está especialmente dirigida a ofrecer soluciones y estrategias para enfrentar los desafíos mencionados en la primera parte. Se exploran cómo las tecnologías emergentes, como la Industria 4.0, y técnicas de manufactura esbelta pueden ser aplicadas. Además, se presentan herramientas y modelos para la planeación estratégica, simulación y optimización de procesos, así como para la gestión de inventarios, con el fin de que las PYMES puedan crecer de manera sostenible y mantenerse competitivas.

En el quinto capítulo, titulado “Plan estratégico para una empresa emergente de hospedaje”, se examina un estudio de caso en una empresa de alojamiento en Acaxochitlán, Hidalgo. El propósito de este estudio es identificar oportunidades de crecimiento para la empresa. Para ello, se utilizó un enfoque de nueve pasos que incluyó la aplicación de una herramienta de evaluación, análisis de los resultados, y comparación entre las condiciones ideales y las reales. El estudio resultó en la creación de 33 estrategias con objetivos específicos para mejorar la situación de la empresa a corto, mediano y largo plazo. Este capítulo pone en evidencia la importancia de tener un sólido modelo de negocio para alcanzar el éxito.

En el sexto capítulo, “Aplicación de técnicas de manufactura esbelta para optimizar el ensamble de chasis de autobuses urbanos”, se investiga cómo mejorar la productividad en la producción de chasis de autobuses urbanos. Se utilizan herramientas de manufactura esbelta y un diagrama de flujo de valor para reducir el tiempo que no agrega valor y mejorar la distribución del proceso. Los resultados demuestran una drástica reducción en el tiempo improductivo, de 1451 minutos a solo 23 minutos, mientras que el tiempo dedicado a actividades que sí aportan valor se redujo a 161 minutos. Esta mejora

sugiere que se podrían reducir tres trabajadores y aumentar la productividad, además de facilitar el montaje de unidades adicionales. Todo esto contribuye a un flujo de trabajo más eficiente, métodos de trabajo mejorados, mayor continuidad y beneficios económicos para la empresa.

En el séptimo capítulo, titulado “Simulación de eventos discretos: Mejora de la productividad en empresas de calzado mexicanas”, los autores exploran cómo la simulación de eventos discretos puede ser una herramienta eficaz para optimizar la producción en empresas de calzado. El estudio se basa en dos casos concretos de empresas mexicanas del sector, donde analizan cómo la simulación influye positivamente en los indicadores de producción. Además, se resalta la importancia de seguir aplicando estas técnicas para continuar mejorando el desempeño de las empresas. Los resultados obtenidos subrayan el gran potencial de la simulación para elevar los estándares de productividad.

Por otro lado, el octavo capítulo, titulado “Análisis y simulación del proceso productivo de una PYME mediante una red de Petri estocástica”, presenta un innovador método de modelado y análisis de la producción en la industria porcina, empleando redes de Petri estocásticas. Este modelo captura con precisión la dinámica temporal y las complejas interacciones del ciclo productivo en la cría y distribución de cerdos, incluyendo aspectos cruciales como la alimentación y el manejo del ganado. Los hallazgos demuestran que este enfoque es altamente efectivo para representar el ciclo productivo porcino, evidenciando propiedades clave que reflejan la naturaleza dinámica del proceso. Este estudio tiene implicaciones significativas para la industria porcina, pues proporcionan una herramienta poderosa para la toma de decisiones y la optimización de procesos, al identificar áreas donde se pueden lograr mejoras y eficiencias.

Finalmente, el capítulo 9, bajo el título “Estrategia para la planeación de inventarios para nuevos productos en una red de centros de distribución y soporte mediante Industria 4.0”, aborda el desafío que representa la rápida evolución de las tendencias del mercado para la distribución eficiente de productos. En este contexto de creciente globalización, se destaca la necesidad de digitalizar las cadenas de suministro utilizando tecnologías de la Industria 4.0. El capítulo propone una estrategia que integra servicios tecnológicos dentro de un esquema colaborativo de centros de distribución, con el objetivo de mitigar los

riesgos asociados a la distribución de nuevos productos. Los análisis de casos presentados confirman la relevancia de esta estrategia y sugieren su aplicabilidad en diferentes sectores industriales y de servicios.

Parte I. Desafíos y contexto de las PYMES en México

Capítulo I. Precariedad laboral en México: del neoliberalismo al humanismo. Su impacto en la producción y la sociedad

Fannia María Cadena Montes*
Silvia Montiel Palma**
Heriberto Niccolas Morales***
Ramiro Cadena Uribe****

Resumen

Planteamiento del Problema. La calidad del trabajo en la industria que se requiere para satisfacer las expectativas y demandas del consumo, está determinada por diferentes factores que se investigan en el estudio del mercado y van desde la localización y tamaño de Planta, métodos procesos, materia prima, maquinaria y equipo y, muy especialmente, del trabajo humano. Cada uno de los elementos de un sistema de producción es fundamental para lograr sus objetivos. Sin embargo, es muy recurrente el subestimar la fuerza laboral, con los consecuentes resultados en la calidad de la producción.

Objetivo. Determinar el impacto que tiene la precariedad laboral en la calidad y eficiencia de los trabajadores, mediante la investigación de causas y efectos, para determinar las acciones tendientes a incrementar el capital humano de la industria, con ellos, la productividad, que se vea reflejado en rendimientos atractivos para la empresa, beneficio para los trabajadores y productos de calidad y precio razonable para la sociedad.

* Doctora en Ciencias Sociales. (NOMBRAMIENTO O CARGO INSTITUCIONAL). Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6232-3564>

** Doctora en Ciencias. . Profesora investigadora, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6445-0209>

*** Doctor en Planeación estratégica y dirección de tecnología. Profesor Investigador de Tiempo Completo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6402-121X>

**** Maestra en Estudios de Población. (NOMBRAMIENTO O CARGO INSTITUCIONAL). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4745-6198>

Metodología

Investigación cuantitativa, cualitativa e histórica de las condiciones laborales de los trabajadores, analítica y sintética de su naturaleza y características Investigación en fuentes oficiales y confiables para la recolección y organización de datos confiables que permitan producir una información que sirva para el análisis e interpretación de una situación. Describir tendencias y realizar propuestas de acción.

Resultados encontrados. La formación de capital humano en la industria no tiene el mismo valor que la inversión en otros elementos del sistema lo que impacta negativamente en los objetivos generales.

Conclusiones. Nadie rinde lo que sus capacidades le pudieran permitir en un ambiente hostil, de inseguridad laboral, social y económica, sin estabilidad y la confianza de un futuro mejor. Es necesario invertir en incrementar en el capital humano de la industria que potencialice las capacidades laborales, en beneficio de la industria, de los trabajadores y la sociedad.

Palabras clave: *inversión, capital humano, calidad*

Objetivo

Este estudio busca hacer un análisis comparativo de los efectos de las reformas neoliberales y las impulsadas en el nuevo modelo que el presidente Andrés Manuel López Obrador ha denominado como Humanismo Mexicano, en las condiciones laborales y de vida de los trabajadores, esto mediante un estudio cuantitativo complementado con el cualitativo.

Conceptos generales

Factores de la producción. Son los medios para la producción de artículos o servicios. Tierra, trabajo, capital y tecnología (Ayres, 2002).

El trabajo: Esfuerzo físico o intelectual del ser humano para realizar determinada actividad.

Tierra: Son los recursos de origen natural, como recursos del suelo y recursos hídricos.

Capital: Son bienes fijos o circulantes que se requieren para la producción

Tecnología: Es el conjunto de procesos y técnicas con base científica para la elaboración de productos.

Cada factor posee su propia retribución: El trabajo el salario, la tierra retribuye la renta, el capital el rendimiento y la tecnología, la calidad en procesos, técnicas y productos.

Productividad. Es la relación entre el volumen de producción y los recursos invertidos en lograrlo, Tiempo, capital, trabajo, insumos. Schäfer (2023).

Capital Humano. Es el conjunto de recursos humanos con que cuenta la organización, considerando su nivel de preparación y desarrollo personal, técnico y profesional. (Castillo-Aroca, 2016).

El Índice de Capital Humano, ICH ⁸ cuantifica cómo la salud y la educación contribuyen a la productividad de la próxima generación de trabajadores. Los países pueden emplearlo para evaluar las pérdidas de ingresos que resultan de las carencias en el capital humano y determinar con qué rapidez pueden convertir esas pérdidas en ganancias si toman medidas en este momento. (Banco Mundial, BM 2022)

Niveles de bienestar. Según la OMS (marzo, 2022), Bienestar es el estado en el que una persona puede realizar sus propias habilidades y tiene la capacidad para enfrentar a los factores que las problemáticas para lograr un nivel de calidad de vida.

Los niveles de bienestar comprenden los indicadores siguientes para su medición: La vivienda, el ingreso, el empleo, el acceso a servicios, seguridad social, el acceso a la educación, medio ambiente digno, con un compromiso cívico y gobernanza (INEGI 2022).

Bienestar. ¹⁴ Comprende siete dimensiones: física, emocional, profesional, espiritual, intelectual, ambiental y social, las que contribuyen a su propia percepción de estar bien o de su calidad de vida y cada dimensión afecta y se sobrepone a las demás.

Precariedad Laboral. Es el deterioro de las condiciones de trabajo, con un ambiente de inseguridad y falta de higiene en el trabajo, inestabilidad laboral, falta de protección legal, bajo poder adquisitivo del salario, falta o reducidas prestaciones de ley, incertidumbre en su futuro laboral y escasas o nulas posibilidades de desarrollo

La precariedad laboral se presenta cuando los ingresos producto del trabajo no son suficientes para cubrir las necesidades elementales de una persona (Clara Mareticorena, 2022).

Las necesidades elementales no son sólo aquellas destinadas a la sobrevivencia biológica, tales como la alimentación, vestido o vivienda, también consideran la naturaleza social de la persona, como la cultura, tradición, manifestación de afecto, el tiempo de descanso, por ejemplo (Laparra, 2020).

Rojas y Salas (2011) consideran que el deterioro de las condiciones laborales en México puede medirse por la inestabilidad, inseguridad, vulnerabilidad y falta de control sobre el trabajo. Existe un alto riesgo de perder el trabajo, dado que el trabajador tiene poco o nulo margen de negociación. No cuenta con seguridad social o prestaciones de ley, aparte que el salario es bajo.

En el aspecto laboral, la precariedad se considera al trabajo asalariado con bajo poder adquisitivo, largas jornadas de trabajo o trabajo parcial involuntario, con escasos o nulos derechos laborales, tales como vacaciones, aguinaldo y, por otra parte, sin las prestaciones sociales de ley, como la pensión y jubilación o crédito para la vivienda (Cadena, 2019).

Las condiciones de trabajo bajas de calidad de acuerdo a una mal entendida reestructuración productiva que tiene fundamento en la reducción de costos en la mano de obra. Con el objeto de tener mano de obra a menor costo se asignan jornadas de trabajo más extensas de los que la ley permite. La organización sindical no está a disposición de la defensa de los trabajadores, sino de la parte patronal. Contratos ilegales. Empleos eventuales, además no calificados y fuera del contrato colectivo (Aranda,2005, De Oliveira 2006, Mora 2006 y 2010).

Introducción.

El análisis de la precariedad laboral adquiere especial relevancia a partir del impacto sobre la productividad que, a su vez, se ve reflejada en los rendimientos de una organización y en la calidad de productos que se ofrecen a la sociedad y sobre la calidad de vida de la población, al incidir en un aspecto fundamental que es el ingreso, la estabilidad económica laboral y la incertidumbre en el futuro.

Este trabajo se ha estructurado, para su objetivo, de forma tal que pudiera generar una idea completa de la importancia del problema a tratar y contribuir a buscar opciones de solución.

En primer término, se presentan los conceptos que dan sustento al análisis y son un marco para el campo de estudio. En el desarrollo es en un panorama internacional para referir el comportamiento mundial del problema y está haciendo en otros países para mejorar la situación de planta laboral. se presenta el panorama en concreto de nuestro país para analizar la trayectoria histórica del problema, su situación y sus perspectivas a corto y mediano plazo.

parte fundamental de este trabajo es presentar propuestas de acción que contribuyan a mejorar las condiciones laborales de la población trabajadora que se vean reflejadas en rendimientos atractivos para el capital como resultado de una mejor productividad y las condiciones apropiadas en el ingreso, prestaciones, y seguridad de los trabajadores y, con ello, mejor calidad de vida de la sociedad.

Desarrollo.

El concepto de empleo estándar puede medirse con un índice de precariedad con 4 dimensiones que son: estabilidad en el empleo, control del empleo, protección de los trabajadores y el nivel del ingreso. El índice refiere trabajo inestable, subordinado, sin prestaciones de ley y muy bajo poder adquisitivo, establece Gerry Rodgers (1989).

Panorama Internacional

1

El sistema económico del nuevo capitalismo o neoliberalismo ha afectado a los trabajadores asalariados en sus condiciones laborales que determinan en gran medida su calidad de vida.

Las personas de las capas más vulnerables no tienen un ingreso ni una vida estable, ya que en la búsqueda de un trabajo no encuentran un trabajo digno, que, incluso llegan a romper la cohesión familiar por el desplazamiento del trabajador del espacio de su hogar (Alonso, 1994; Kohle y Artilles, 2010).

El capitalismo flexible lleva a 3 tipos de incertidumbre. Los movimientos laterales, en los que el trabajador siente que progresar, pero sólo se desplaza lateralmente sin mejorar su estrato social. Pérdida retrospectiva o las decisiones equivocadas al cambiar un trabajo que implica ingresos impredecibles (Sennet 2020).

La incertidumbre degrada al profesional experimentado, se menosprecia su antigüedad y experiencia, conocimiento profesional. Apreciado como un obstáculo para la maleabilidad de la mano de obra. La familia se desvalora al estar basada en valores disfuncionales para el capitalismo dadas las relaciones sociales superficiales.

La clase trabajadora, es decir, toda persona que vive de la venta de su fuerza de trabajo, se encuentra dentro de un mercado laboral flexible, con empresas que tienen un dinamismo tal que hacen cambios y ajustes impredecibles, pidiendo a los trabajadores adaptarse (Sennet, 2000). De ahí la calidad transitoria de los trabajadores en proyectos a corto plazo y sin sentido de pertenencia.

Se promueve demagógicamente la idea del ciudadano emprendedor, como si las condiciones legales, fiscales, económico y sociales fueran las adecuadas. Solo hace falta tener el espíritu emprendedor. Se promueve al propio negocio. Aunque sea sus sustento financiero y académico. Así, proliferan los negocios que, así como abren, al poco tiempo cierran, con pérdidas para los emprendedores. En estas condiciones se delega al individuo la responsabilidad de su propia trayectoria en un mercado laboral que no tiene la capacidad de absorber la mano de obra que se oferta.

Precariedad laboral en la producción

El objetivo de un organismo, ya sea del cualquiera de los tres sectores de la producción, de las industrias extractivas, de la transformación o de servicios y comercialización, públicas o privadas, es el de satisfacer con calidad las demandas de la sociedad para su consumo y obtener un rendimiento razonable, como beneficio, sustento y desarrollo,

Un factor predominante para lograr este objetivo es el factor humano. Factor que tiene sentimientos, necesidades, aspiraciones. No es una máquina. Su rendimiento está en función a las condiciones que determinan la calidad laboral. Por lo tanto, si un organismo requiere calidad operativa debe crear las condiciones de calidad en sus actividades y procesos.

El capital de una organización lo constituyen sus instalaciones, equipos y maquinaria, su infraestructura, su producción, patentes su tecnología. Pero también el capital humano con que cuenta. La formación de sus recursos humanos para el mejor desempeño y desarrollo.

El capitalismo sostiene que el problema se encuentra en la falta o deficiente preparación de los trabajadores y, por lo tanto, no pueden aspirar a puestos de mejores condiciones laborales. El desempleo crece por la incapacidad del modelo económico para atender la demanda de empleo Pérez Sáinz, 2016).

El Índice de Capital Humano. El Foro Económico de Davos da a conocer anualmente el informe sobre el índice de Capital Humano Mundial, referente a la calidad de preparación y desarrollo de la población trabajadora de un país, en una escala de 0 para los países que menos invierten para desarrollar la capacidad de sus trabajadores y 100 para los que más lo hacen. Para 2023. El informe lo encabeza Finlandia con el 85.86 y Mauritania es el país con índice más bajo con 42.33, puntuación a menos de la mitad.

En octubre de 2018 el Banco Mundial dio a conocer el indicador llamado Índice de Capital Humano como una medida de la capacidad potencial de la población que es aprovechada para el desarrollo de un país. Se ordenan ²⁹ los países de acuerdo a la inversión en educación y salud para la infancia y para los jóvenes. Es una medida que refiere lo que un país podría ganar en el Producto Interno Bruto, PIB, si se atendiera la demanda en salud y educación de su población.

Encabeza la lista Singapur con 0.88. lo que significa que está dejando de ganar el 12 % del producto Interno Bruto. Canadá está en el décimo lugar dado que tiene e 10.80. Los Estados Unidos están en el 24 con 0.76. Para el año 2020, México tiene el 0.6. Es decir, podría ganar el 40 % más del PIB si la inversión en educación y salud fuera la óptima para la población infantil y juvenil.

Panorama Nacional

Antecedentes

México ha pasado de ser considerado el Estado Benefactor a un Estado Neoliberal por asumir un modelo económico en el que se pone en primer término la liberación de los sectores privados en los factores de la producción relegando al Estado a funciones de regulación, lo que ha impactado al mercado laboral al reducir las conquistas laborales. El argumento neoliberal sostiene que la injerencia del Estado en todos los ámbitos de la vida pública no es funcional y representa un obstáculo para el desarrollo del país.

Se consideró que el origen de la causa de las crisis económicas se encontraba en las políticas gubernamentales, que propiciaban el déficit en la balanza de pagos y la inflación. Se oponían a que el gobierno tuviera injerencia en la economía. Se sostenía **que la actividad productiva debe dejarse en manos de la iniciativa privada y a las fuerzas del libre mercado**. Que el estado no debería tener ninguna intervención en la actividad productiva y que, necesariamente, tendría que desprenderse de todas las empresas del sector público. Ideas que fueron propuestas **por organismos internacionales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional**, y, además, se consideraban **estrategias en países en vías de desarrollo, como México**. La presión de la deuda externa hacía que se siguieran las sugerencias y ponían en entredicho la independencia económica y la soberanía nacional. Las políticas económicas dictadas desde el extranjero para acceder a préstamos financieros.

Al inicio del sexenio de Miguel De la Madrid, 1982 se inicia el cambio del modelo económico en México. De un gobierno proteccionista de la economía e industria local, a otro gobierno de puertas abiertas al exterior para la llegada de las grandes transnacionales contra las que la industria nacional no podría competir. Se inicia el proceso de globalización y las leyes del libre mercado internacional. Se dijo en ese

entonces que México entraba al primer mundo. Se remarcaron las conveniencias. Iban a llegar productos de la más avanzada y reciente tecnología. No dijeron lo que pasaría con los productos y la planta industria nacional ante la llegada de transnacionales.

Como consecuencias de estas políticas se dio inicio a la desincorporación de importantes empresas estatales. Se abrió el espacio para privatización de sectores importantes en las empresas estratégicas del gobierno, como PEMEX y la CFE. Se malbarataron los bienes de la nación. Teléfonos de México, Instituto Mexicano de Televisión, por ejemplo. Los trabajadores fueron perjudicados. Desde 1976, durante el gobierno de José López Portillo se establecieron políticas de **contención salarial, lo que implica limitar el aumento del salario mínimo en función a la inflación, y no en función a la productividad laboral. La política de aumentar las utilidades reduciendo costos de salarios y prestaciones. Reducir las obligaciones del sector patronal.**

La contención salarial utilizada para combatir a la inflación, **control de salarios y precios. Aumento a los salarios mínimos y contractuales según la inflación esperada para el siguiente año (Damián, 2002).** Se partía del hecho de que los incrementos salariales aumentaban el circulante y, consecuentemente, la inflación. Al haber más demanda y no más oferta, vendría la inflación con todas sus consecuencias. Entre ellas, la devaluación de la moneda.

En el gobierno de Miguel de la Madrid se registraron las más altas tasas de inflación de forma tal que eliminaron tres ceros a la moneda. La inflación tuvo incrementos más altos a los incrementos salariales, en perjuicio del poder adquisitivo del dinero. En 1994, el salario mínimo disminuyó más de 60 % respecto al salario mínimo de ese mismo año (Damián, 2002).

Las consecuencias económicas, laborales y sociales del en México se padecieron durante los sexenios de Miguel De la Madrid (1982-1988, **Carlos Salinas de Gortari (1988-1994), Ernesto Zedillo (1994-2000), Vicente Fox (2000-2006), Felipe Calderón (2006-2012), y Enrique Peña Nieto (2012-2018).** 36 años.

En 1997, Zedillo modificó la Ley del IMSS de 1973, con lo que los trabajadores se jubilaran con solo el 50 % de su salario y no el 100 % de su último salario. También se incrementó la edad de jubilación.

Se creó la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (Consar) y las Administradoras de Fondos para el Retiro (Afores). Pasando al sector privado los fondos de los trabajadores. Estas son hoy en día las encargadas de administrar los recursos para el retiro de los trabajadores, haciendo inversiones, además de crear las cuentas individuales, en donde se depositan las cuotas obrero patronales. Mientras las afores reportan altas utilidades, los trabajadores batallan para sobrevivir con su jubilación. Durante el primer semestre de 2023 la utilidad neta de las administradoras de fondo para el retiro (afores) sumaron 5 millones 5 mil 580.2 pesos, lo que representa un aumento de 254.8 por ciento más que los primeros seis meses del año pasado, de acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro.

Prevalece la tendencia a reducir las obligaciones de los patrones para sus trabajadores, se dio importancia a la productividad de las empresas, pero se descuidaron los derechos laborales logrados durante muchos años de luchas laborales.

Se implanta la subcontratación, outsourcing, una empresa contrata a un trabajador para laborar para otra empresa de manera temporal (De la Garza, 2012). El objetivo es evitar responsabilidades ante los trabajadores. Mientras los trabajadores veían afectados sus derechos, el sector patronal se ahorra el pago de salarios justos y las prestaciones de ley.

La administración de la Cuarta Transformación

Para 2018, el presidente de México, Andrés Manuel López Obrador, planteó la necesidad de regresar al Estado de Bienestar, como la alternativa al decadente neoliberalismo. En 2020 presentó una iniciativa de Reforma Laboral contra el outsourcing y derogar la Reforma Laboral de 2012. Esta nueva Reforma entró en vigor el 24 de abril de 2021 con resultados inmediatos.

El 30 de marzo de 2021 se promulgó otra reforma a la Ley Federal de Trabajo para que los incrementos al salario mínimo nunca estén por debajo de la inflación, evitar la pérdida del poder adquisitivo. Se busca que esta modificación tenga rango constitucional, es

decir, que no solo esté en la Ley Federal del Trabajo sino en la Constitución Política de México para evitar que haya retrocesos.

En 2022 se presentó una iniciativa de reforma que considera:

- Jornadas laborales de siete horas diarias en lugar de ocho., seis horas la nocturna y seis y media horas la mixta.
- ¹ Personas trabajadoras que tengan más de un año de servicio disfruten de un periodo anual de vacaciones pagadas que en ningún caso pueda ser inferior a los 12 días laborables y que aumente en dos días laborables hasta llegar a 18, por cada año subsecuente de servicios.

Alternativas de acción

Por parte del Estado es actualizar las normas legales, como ya lo ha estado haciendo, para garantizar los derechos laborales que durante años se han logrado. Propiciar, fomentar y apoyar a las industrias de los 3 sectores de la producción, en especial al de las industrias de la transformación con infraestructura, y centros de educación para la formación de recursos humanos con la capacidad que se requiere y desarrollar las investigaciones para la ciencia y la tecnología propias.

Para los sectores productivos se deberá tener presente que las condiciones laborales de calidad no son un gasto, sino una inversión para conseguir sus objetivos de rendimientos, ofreciendo productos de calidad a la sociedad. Que la reducción de costos no va por la reducción de la mano de obra. Si despiden a los trabajadores fomentan el desempleo. Y luego, ¿quién compra? Un ciudadano pobre no es buen consumidor.

Conclusiones

La precariedad laboral afecta a las empresas y a todas las organizaciones porque disminuye el rendimiento de los trabajadores. No es lo mismo un trabajador que se esmera en sus funciones porque se identifica con el trabajo. Sabe que tiene salario justo

y prestaciones sociales. Que tiene estabilidad y posibilidades de desarrollo para un futuro mejor, a otro trabajador que está preocupado por su situación económica y su incertidumbre para mañana.

El Estado vuelve al control del desarrollo económico, ¹ ha retomado el control en el mercado laboral estableciendo un marco jurídico que garantice mejores condiciones laborales para los trabajadores además de mejores salarios.

Tras las modificaciones efectuadas durante este sexenio en el modelo político-económico, para reconfigurar el modelo de Estado de Bienestar, López Obrador definió su forma de gobierno como "Humanismo Mexicano", pues ya se alejó del neoliberalismo.

Referencias

Ayres (2002). Exergy, Power and Work in the U. S. Economy 1900-1998, Insead's Center For the Management of Environmental Resources, 2002/52/EPS/CMER

Schäfer, Mario (2023). Doing What Matters: The Power of Purposeful Productivity (1. Auflage edición). BoD – Books on Demand. ISBN 978-3-7578-6098-1. Consultado el 8 de diciembre de 2023.

Castillo-Aroca, Alberto (2016): "Depreciación del capital humano en la Alianza del Pacífico durante 2007-2014", Revista de Ciencias Económicas de la Universidad de Costa Rica, 34,1, pp. 9-46.

Foro Económico de Davos. Informe anual sobre índice de capital humano 2023.

Banco Mundial. Índices de Capital Humano. Informe. 2020

INEGI, Niveles de bienestar, XII Censo de Población y Vivienda del año 2000

INEGI. Indicadores de bienestar desarrollados por la OCDE. 2022

Organización Mundial de la Salud, OMS. Estado de bienestar. Informe anual. Marzo de 2022.

Mareticorena, Clara. Precariedad laboral y caída salarial. El mercado de trabajo en la Argentina post convertibilidad. 7º Congreso Nacional de Estudios del Trabajo

Laparra Navarro Miguel. La construcción del empleo precario. Dimensiones, causas y tendencias de la precariedad laboral. Informe de la Fundación FOESSA para Cáritas.

Capítulo II. La gestión integrada del agua y su problemática. Caso de estudio en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo

Humberto Iván Navarro Gómez*
Christopher Contreras López**
María del Refugio González Sandoval***
Carmen Julia Navarro Gómez****

Resumen

La gestión integrada del agua en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, enfrenta múltiples desafíos, entre los que se destacan la sobreexplotación de los recursos hídricos, la contaminación, y la infraestructura insuficiente para su tratamiento y distribución. La falta de coordinación entre los actores clave en la gestión del agua agrava la situación, dificultando la implementación de estrategias que aseguren un suministro seguro y sostenible de agua para la población. Este capítulo analiza la problemática actual en torno a la disponibilidad de recursos hídricos y propone acciones para gestionar exitosamente el agua en el acuífero 1508 y su interacción con la subcuenca hidrológica del Río de las Avenidas, que son las principales fuentes de abastecimiento de la región. El objetivo es concienciar sobre la necesidad de moderar las expectativas de crecimiento regional, promover la resiliencia y fomentar un uso racional y cuidadoso del agua.

* Doctor en Ciencias, Especialidad Hidro-ciencias. Profesor Investigador de Tiempo Completo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>

** Maestro en Arquitectura, Candidato a Doctor. Profesor Investigador de Tiempo Completo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-3103>

*** Doctora en Ingeniería. Especialidad en Ingeniería Química. Profesora investigadora de Tiempo Completo, Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8174-1393>

**** Doctora en Ciencias de los Materiales. Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6688-9867>

Palabras clave: *acuífero, subcuenca hidrológica, resiliencia, vulnerabilidad, tendencias*

1. Introducción

En este capítulo se explora la compleja situación de la gestión del agua en la Zona Metropolitana de Pachuca, Hidalgo, destacando los desafíos relacionados con la sobreexplotación de los recursos hídricos, la contaminación del agua, y la falta de infraestructura adecuada. Además, se pone de manifiesto la escasa coordinación entre los diferentes actores implicados en la gestión del recurso, lo cual complica la implementación de estrategias eficaces para garantizar un suministro de agua seguro y sostenible para la población.

Desarrollo Histórico y Urbano

La Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP) se sitúa en el estado de Hidalgo, en la región central de México, y comprende los municipios de Pachuca de Soto, Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Epazoyucan, Zapotlán de Juárez y Zempoala (SEMARNATH, s/f). Su importancia urbana se remonta a sus orígenes como un centro minero, evolucionando posteriormente hacia su papel como capital administrativa, comercial y de servicios del estado en el siglo XIX (Manetta y Serrano-Avilés, 2019).

Durante la década de 1990, el crecimiento poblacional de Pachuca se aceleró al integrarse eficazmente al proceso de desconcentración de la población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (SEGOB, 2016; Vargas González, 2011).

Migración y Crecimiento Poblacional

El flujo migratorio de la Zona Metropolitana del Valle de México hacia la Zona Metropolitana de Pachuca se intensificó en la década del 2000, siendo este fenómeno documentado por Granados-Alcántar en 2007.

La reubicación de residentes de la gran metrópoli hacia zonas con precios de suelo más accesibles, aunque cercanas a la Ciudad de México, fue un factor determinante en la oficialización de la delimitación de la Zona Metropolitana de Pachuca.

Esto se debe a que los residentes de la gran metrópoli del centro de México trasladaron su lugar de residencia hacia zonas con precios más bajos del suelo, aunque aún próximas a la Ciudad de México, según lo señalado por Pérez Marcial en 2018.

En esta región se observan las conexiones entre la disminución de población en la Zona Metropolitana del Valle de México y el surgimiento y crecimiento de la Zona Metropolitana de Pachuca.

Actualmente, una parte considerable de los migrantes realiza desplazamientos diarios, principalmente por motivos laborales, lo que resalta la conexión entre la disminución de población en la ZMVM y el crecimiento de la ZMP (Pérez Marcial, 2018).

Expansión urbana y movilidad

La expansión urbana se ha concentrado especialmente en Mineral de la Reforma, donde el incremento en la oferta de vivienda ha propiciado un notable aumento poblacional. El desarrollo del transporte público y la construcción de nuevas vías de comunicación han facilitado la movilidad entre ambas zonas metropolitanas (Manetta y Serrano-Avilés, 2019).

Resalta así la edificación de extensos complejos residenciales en las afueras de Pachuca, específicamente en Mineral de la Reforma, donde el incremento en la oferta de vivienda ha sido más asequible, lo que se traduce en un aumento poblacional notable. Además, el avance en el transporte público y la construcción de nuevas vías de comunicación han garantizado una intensa movilidad entre ambas zonas metropolitanas (Manetta y Serrano-Avilés, 2019), el cuadro 1 presenta datos comparativos sobre el crecimiento demográfico entre 1990 y 2020 en México, Hidalgo y los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Pachuca, resaltando Mineral de la Reforma como el de mayor incremento poblacional.

Cuadro 1

Municipios de la ZMP. Cantidad de habitantes y tasas promedio de crecimiento anual (%) años 1990 y 2020 y comparativas

	1990	2020	1990-2020	1990-2020
República Mexicana	81,249,645	126,014,024	44,764,379	1.8
Hidalgo	1,888,366	3,082,841	1,194,475	2.1
ZMP	276,512	665,929	389,417	4.7
<i>Municipios</i>				
a) Epazoyucan	9,302	16,285	6,983	2.5
b) Mineral del Monte	13,043	14,324	1,281	0.3
c) Pachuca de Soto	180,630	314,331	133,701	2.5
d) Mineral de la Reforma	20,820	202,749	181,929	29.1
e) San Agustín Tlaxiaca	19,941	38,891	18,950	3.2
f) Zapotlán de Juárez	11,481	21,443	9,962	2.9
g) Zempoala	21,295	57,906	36,611	5.7

Fuente: elaboración propia a partir de datos recuperados de SEMARNAT (2019)

2. El Impacto de la demanda de servicios esenciales.

El crecimiento urbano genera una mayor demanda en la provisión de servicios esenciales, siendo el abastecimiento de agua uno de los más críticos. En la Zona Metropolitana de Pachuca, esta situación se complica debido a la falta de coordinación entre los actores responsables de la gestión del recurso hídrico, lo que añade aún más complejidad al escenario.

Perturbación del Equilibrio del Ciclo del Agua

El crecimiento poblacional ha alterado el equilibrio del ciclo del agua, volviéndolo un recurso escaso tanto para los humanos como para los ecosistemas naturales. Aunque la concentración de personas en áreas urbanas facilita la distribución del agua, atender la demanda en estas grandes aglomeraciones requiere la extracción continua y el agotamiento de acuíferos subterráneos.

A nivel mundial, se calcula que el nivel freático desciende en promedio 10 metros por año, un ritmo insuficiente en regiones con altos niveles de consumo, como las megalópolis y las zonas urbanas en climas áridos. Esta situación contribuye a la desertificación de extensas áreas rurales, que a su vez pierden la capacidad de retener y absorber el agua de lluvia.

Escasez y Estrés Hídrico.

Factores como la escasez de precipitaciones, la explotación excesiva de los acuíferos, la contaminación del agua y el crecimiento urbano contribuyen a la escasez de agua en la Zona Metropolitana de Pachuca.

Esta situación puede generar situaciones de estrés hídrico, en las que la demanda de agua supera la oferta disponible. Tales condiciones no solo afectan la calidad de vida de la población, sino que también ponen en peligro el desarrollo sostenible de la región.

Importancia de la gestión del agua.

Por consiguiente, es crucial implementar medidas de gestión del agua eficaces y sostenibles para asegurar un suministro adecuado de agua para todos los habitantes y salvaguardar los recursos hídricos a largo plazo.

Sequía en México e Hidalgo.

La sequía es una preocupación apremiante en todo México, incluido el estado de Hidalgo. Según el Monitor de Sequía de México, dirigido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024), hasta el 15 de enero de 2024, más del 60% del territorio nacional experimentó algún grado de sequía.

En Hidalgo, el 96.4% de sus municipios han enfrentado algún nivel de sequía, lo que subraya la urgencia de abordar esta crisis hídrica.

3. La Influencia de la demanda de agua de la Zona Metropolitana del Valle de México en Hidalgo y, especialmente, en la Zona Metropolitana de Pachuca

3 En México, el conflicto por el acceso a los recursos hídricos presenta características distintivas, que varían según diferentes contextos y niveles de análisis. 3 Con el proceso de urbanización y metropolización, se anticipa un aumento en la demanda de agua potable y un incremento sin precedentes en la vulnerabilidad frente a la escasez, especialmente afectando a las comunidades más pobres asentadas en las grandes aglomeraciones urbanas (Arrojo, 2009; Martínez et al., 2017).

Paralelismo en la problemática hídrica

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que incluye a la Ciudad de México (CDMX), ha experimentado un rápido crecimiento poblacional desde la década de 1950. Este crecimiento desorganizado ha tenido impactos significativos en las condiciones de vida de la población y en la gestión de los recursos hídricos, volviéndola relativamente más vulnerable ante ciertos riesgos específicos.

3 La velocidad y la naturaleza de esta expansión han tenido impactos significativos en las condiciones de vida de la población, volviéndola relativamente más vulnerable ante ciertos riesgos específicos (Legorreta Gutiérrez, 2006).

Como resultado, se han urbanizado áreas sin considerar de manera adecuada los usos controlados del suelo, lo que ha reducido significativamente las áreas de recarga de los acuíferos (Manetta y Serrano-Avilés, 2019).

Impacto en la Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP)

El manejo inadecuado del agua en la ZMVM ha tenido repercusiones directas en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en Hidalgo, especialmente en la Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP). La falta de planificación en el crecimiento urbano y la gestión ineficiente de los recursos hídricos han exacerbado la escasez de agua y la vulnerabilidad de la población ante la misma. Además, el agua residual urbana y el agua pluvial se han mezclado y exportado a otras regiones mediante extensos sistemas de ingeniería, como túneles emisores y canales de desagüe de aguas pluviales.

3 Debido a este manejo, una cuenca que originalmente era cerrada se ha convertido en un valle abierto; en lugares donde antes había abundancia de recursos hídricos, ahora se

registra una escasez relativa. Este aumento en la demanda recurrente debido a la expansión metropolitana ha disminuido el potencial de abastecimiento.

Otro problema grave es la contaminación del agua debido al vertido de desechos sin tratar, lo que ha generado nuevos problemas de salud pública, dejando al sistema hídrico de la Zona Metropolitana del Valle de México en una aguda crisis (Izazola y Carmo, 2004).

Explotación de acuíferos y escasez de agua

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ha pasado a depender significativamente del agua importada de otras cuencas, lo que ha llevado a una mayor presión sobre los manantiales locales y las áreas circundantes.

En 1986, la administración de aguas del Valle de México realizó un estudio hidrogeológico en las proximidades de Pachuca, con el objetivo de desviar agua hacia la Ciudad de México. Para ello, se realizaron perforaciones a lo largo del corredor Pachuca-Ciudad de México, lo que resultó en una explotación intensiva del acuífero Cuautitlán-Pachuca (Huizar, 1993: 97).

La sobreexplotación del acuífero 1508 Cuautitlán-Pachuca, ubicado en el límite sureste del Estado de Hidalgo, ha contribuido a la escasez relativa de agua en la ZMP y al riesgo inminente de desabasto de agua potable. De hecho, conforme a datos propios de Conagua actualmente presenta un índice de sobreexplotación de entre el 260 y el 280% (CONAGUA, 2023).

Desafíos y necesidades en la Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP)

Para comprender mejor las relaciones entre las condiciones de acceso al agua potable y las desigualdades sociales espaciales en la Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP), es fundamental analizar más a fondo los desafíos y necesidades específicas que enfrenta esta región.

La ZMP enfrenta una serie de desafíos, incluyendo la escasez de agua, el crecimiento poblacional acelerado y la incapacidad institucional para una gestión adecuada de los recursos hídricos. Estos factores han generado una situación de riesgo para la población,

que requiere de acciones urgentes y coordinadas para garantizar un suministro seguro y sostenible de agua para todos sus habitantes.

Escasez de agua y desabasto.

La escasez relativa de agua en la ZMP representa uno de los mayores desafíos para la población. La falta de medidas efectivas para gestionar los recursos hídricos ha llevado a un riesgo inminente de desabastecimiento de agua potable (Pachuca Vive, 2018). La falta de acciones concretas para abordar este problema agrava aún más la situación y aumenta la vulnerabilidad de la población.

Crecimiento poblacional acelerado.

Como ya se ha mencionado, el crecimiento poblacional acelerado desde la década de 1990 ha ejercido una presión adicional sobre los recursos hídricos disponibles en la ZMP. El aumento de la demanda de agua potable debido al incremento de la población ha exacerbado la escasez de agua y ha destacado la necesidad urgente de implementar estrategias de gestión adecuadas. (Arellano Islas, 2016; Ruiz, 2017).

Incapacidad institucional para la gestión del agua

La incapacidad institucional para una gestión adecuada de los recursos hídricos ha sido un factor determinante en la situación actual. La falta de coordinación entre las autoridades locales y regionales, así como la ausencia de políticas y medidas efectivas, ha contribuido a agravar los problemas relacionados con el suministro de agua potable en la ZMP.

La Comisión Estatal del Agua y Alcantarillado del Estado de Hidalgo (CEAA) actualizó, hace una década, la información hidrogeológica del acuífero Cuautitlán-Pachuca, constatando que el déficit tiende a aumentar y, sin embargo, no se efectuaron acciones que lleven a modificar las tendencias.

Disparidad en el acceso al agua potable

Las disparidades en el acceso al agua potable entre diferentes áreas de la ZMP reflejan las desigualdades sociales espaciales presentes en la región. Mientras que en las colonias con altos niveles de marginación el acceso al agua potable es limitado y discontinuo, en las áreas de mejor situación socioeconómica el suministro es más constante y regular. (Pacheco-Vega, 2017; Martínez et al., 2017).

Relación con las desigualdades sociales

De lo anterior, es posible observar que existe una clara correlación entre las condiciones de acceso al agua potable y las desigualdades sociales en la ZMP. Las familias con mayores niveles de ingresos tienden a tener un mejor acceso al agua potable, mientras que aquellas en situación de pobreza enfrentan mayores dificultades para acceder a este recurso básico debido a factores como falta de tuberías como a la baja frecuencia y discontinuidad en el suministro.

Necesidad de intervención.

Ante esta situación, es fundamental que las autoridades locales y regionales implementen medidas concretas para abordar las desigualdades en el acceso al agua potable y garantizar un suministro seguro y sostenible para todos los habitantes de la ZMP. Esto requiere una acción coordinada y urgente para mejorar la infraestructura hídrica, promover la eficiencia en el uso del agua y asegurar que las políticas y programas sean equitativos y accesibles para toda la población.

En resumen, para abordar los desafíos y necesidades en la Zona Metropolitana de Pachuca relacionados con el acceso al agua potable y las desigualdades sociales espaciales, es crucial una acción integral y coordinada que involucre tanto a las autoridades gubernamentales como a la sociedad civil y otros actores relevantes. Esto permitirá avanzar hacia un futuro donde el acceso al agua potable sea un derecho universal y garantizado para todos los habitantes de la región.

Esta situación no es exclusiva de Hidalgo; estudios realizados en la Zona Metropolitana del Valle de México muestran que las familias con mayores niveles de ingresos tienen mejores condiciones de acceso al agua potable.

³ Legorreta Gutiérrez (1997) estimó que los sectores más pobres de la Ciudad de México consumen alrededor de 38 litros diarios por persona. En contraste, en los sectores con mayores ingresos, el consumo oscila entre 800 y 1,000 litros diarios por persona (estos valores consideran las fugas y la eficiencia de conducción y operación).

³ Contradictoriamente, el valor del pago por litro de agua de los grupos sociales más bajos es sustancialmente mayor que el valor pago de los grupos de clase alta, ya que el agua entubada tiene subsidio gubernamental (Izazola y Carmo, 2004).

El Cuadro 2 muestra las condiciones de acceso domiciliario al agua potable, revelando que los municipios periféricos como Mineral del Monte y San Agustín Tlaxiaca tienen los porcentajes más bajos de suministro en los hogares.

Cuadro 2

ZMP - Estado de disponibilidad de agua potable en las viviendas particulares (2020)

		Viviendas			Total
		en zona urbana con a.p.	en zona rural sin a.p.	en zona urbana sin a.p.	
ZMP	volumen	194,348	87,797	5,028	287,173
	(%)	67.7	30.5	1.8	100.0
a) Pachuca de Soto	volumen	90,722	31,097	2,520	124,339
	(%)	73.0	25.0	2.0	100.0
b) Mineral del Monte	volumen	3,295	1,127	393	4,815
	(%)	68.4	23.4	8.2	100.0
c) Mineral de la Reforma	volumen	63,116	33,703	769	97,588
	(%)	64.7	34.5	0.8	100.0
d) San Agustín Tlaxiaca	volumen	9,791	3,752	610	14,153
	(%)	69.2	26.5	4.3	100.0
e) Epazoyucan	volumen	4,643	1,829	191	6,663
	(%)	69.7	27.5	2.9	100.0
	volumen	5,596	1,959	253	7,808

f) Zapotlán de Juárez	(%)	71.7	25.1	3.2	100.0
g) Zempoala	volumen	17,185	14,330	292	31,807
	(%)	54.0	45.1	0.9	100.0

Fuente: cálculo realizado a partir de datos detallados de la CEAA e INEGI (2020)

5. Agenda 2030 y el ODS 6.

La Agenda 2030 y el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (ODS 6) establecen la necesidad urgente de mejorar la cobertura y el saneamiento del agua, lo cual se ha convertido en un desafío crítico para la Zona Metropolitana de Pachuca (ZMP) y otras áreas de la megalópolis de México Central. En este contexto, es imperativo realizar un análisis exhaustivo de la situación actual y adoptar medidas concretas para abordar los múltiples desafíos relacionados con el agua en la región.

La problemática del agua en la ZMP abarca una serie de desafíos interrelacionados que afectan tanto a la disponibilidad como a la calidad del recurso hídrico. La sobreexplotación de los acuíferos es una preocupación importante, ya que el aumento de la demanda de agua ha llevado a un agotamiento significativo de estas fuentes subterráneas. Además, la contaminación del agua, tanto por desechos industriales como domésticos, representa una amenaza para la salud pública y el medio ambiente.

El acceso desigual al agua potable en algunas comunidades de la ZMP también es una preocupación destacada, ya que muchas personas enfrentan dificultades para obtener agua limpia y segura para el consumo diario. La gestión ineficiente de los recursos hídricos y la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento y distribución del agua agravan aún más esta situación, contribuyendo a la perpetuación de las desigualdades sociales y económicas en la región.

Además, el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua en la ZMP es un factor cada vez más preocupante. Las variaciones en los patrones de precipitación y la frecuencia de eventos climáticos extremos pueden afectar la cantidad y calidad del agua disponible, exacerbando aún más los desafíos existentes en la gestión del recurso hídrico.

Para abordar estos problemas de manera efectiva, es fundamental implementar políticas y acciones que promuevan un uso sostenible y equitativo del agua en la ZMP. Esto incluye medidas para mejorar la eficiencia en el uso del agua, fomentar la conservación de los recursos hídricos, fortalecer la infraestructura de tratamiento y distribución del agua, y promover la participación de la comunidad en la gestión del agua.

Además, es crucial integrar los principios de la Agenda 2030 y los ODS 6 en las estrategias de desarrollo regional, asegurando así que la gestión del agua en la ZMP contribuya de manera significativa al logro de los objetivos de desarrollo sostenible a nivel local y global.

En ese sentido, es imperativo establecer políticas y acciones efectivas para garantizar un uso sostenible y equitativo del agua en Hidalgo.

Los principales desafíos por resolver se pueden agrupar en los siguientes aspectos:

1. La expansión urbana no planificada hacia el sur de la ZMP impide la infiltración de aguas pluviales hacia el subsuelo en áreas del valle con mejor permeabilidad.
2. La urbanización creciente y la deforestación en las sierras contiguas aumentan los escurrimientos pluviales contaminados hacia arroyos y calles, sin un plan de aprovechamiento de dichas aguas y sin medidas para aumentar la recarga y recuperación del agua en áreas elevadas.
3. El Río de las Avenidas, que en el pasado alimentaba el valle con sus aguas superficiales, ahora transporta principalmente aguas residuales, contribuyendo a su contaminación entre la ZMP y el área de Tizayuca.
4. Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la ZMP funcionan deficientemente y solo tratan una fracción de las aguas, que luego se descargan sin tratar en el Río de las Avenidas.
5. El acuífero interestatal 1508 Cuautitlán-Pachuca está sobreexplotado y contaminado, según datos de CONAGUA.
6. La falta de acceso equitativo a servicios básicos en la ZMP, con grandes disparidades entre las colonias del norte y del sur, donde la cobertura y eficiencia del suministro son significativamente diferentes.

Para abordar estos desafíos, se pueden considerar diversas soluciones, como:

1. Programas de conservación del agua que promuevan prácticas de uso eficiente y responsable.
2. Campañas de concientización sobre el cuidado del agua y la reducción de la contaminación.
3. Mejoras en la infraestructura hídrica, incluyendo reparaciones y mantenimiento de redes de distribución y sistemas de tratamiento.
4. Fomento de la reutilización del agua tratada para usos no potables.
5. Promoción de la captación de agua de lluvia y la recarga de acuíferos.
6. Establecimiento de políticas de gestión integrada de los recursos hídricos que involucren a todos los actores relevantes y que garantice un uso sostenible y equitativo del agua en la región.

Estas soluciones son solo algunas posibles estrategias para abordar la problemática del agua en la ZMP. Es crucial implementar medidas coordinadas y sostenibles para garantizar la disponibilidad y calidad del agua en la región.

6. El día cero.

¿Podríamos llegar a enfrentar el llamado "día cero"? Este término, que se refiere al momento en que se agotan las reservas de agua, ¹¹ no es simplemente un concepto científico, sino que, al igual que la escasez de agua, es una construcción social. En esencia, es una idea que la sociedad ha desarrollado y aceptado como parte de nuestra realidad, aunque su origen radica en decisiones humanas y procesos culturales, no en fenómenos naturales.

Por otro lado, la sequía es un fenómeno que responde a procesos naturales del entorno y a ciclos climáticos. Sin embargo, es importante tener presente que la falta o escasez de agua, ya sea a nivel individual o nacional, tiene sus raíces en una distribución desigual del recurso. Esta desigualdad se hace aún más evidente en situaciones de sequía, cuando la escasez se agudiza (Padilla Calderón, 2012).

El "Día Cero" es un concepto que ha sido adoptado socialmente para representar la crisis de escasez de agua y la urgente necesidad de implementar acciones concretas para enfrentar este desafío. Este término destaca la importancia de la colaboración entre todos los sectores de la sociedad para desarrollar soluciones que aseguren tanto la disponibilidad como la calidad del agua en las regiones afectadas.

El origen del término "Día Cero" se remonta a 2018, cuando Ciudad del Cabo, en Sudáfrica, advirtió que sus reservas de agua se agotarían en abril de ese año debido a los niveles peligrosamente bajos de sus presas. Aunque finalmente no se llegó a esa situación extrema, la alarma generada impulsó cambios significativos en los hábitos de consumo de agua y actuó como un catalizador para tomar medidas inmediatas.

En 2022, Monterrey anunció su propio Día Cero, y se ha especulado sobre la posibilidad de que la Ciudad de México también lo experimente, debido a la sequía en el país.

En 2022, Monterrey enfrentó la amenaza del "Día Cero", un evento crítico que alertó sobre la posibilidad de que otras ciudades importantes, como Ciudad de México, pudieran experimentar una situación similar debido a la intensa sequía que afectaba al país. Esta situación provocó especulaciones sobre una posible emergencia nacional, dada la gravedad de la crisis hídrica.

Independientemente de si se llega o no al "Día Cero", es esencial reflexionar sobre las medidas que podemos tomar como ciudadanos. En enero, se registraron 68 protestas en el Estado de México, donde los residentes exigían su derecho al acceso al agua, según reportes de Solís y otros (2024). En respuesta, ¹⁶ la Comisión Nacional del Agua (Conagua) implementó operativos de emergencia para suministrar agua potable en áreas críticas como la Ciudad de México, el Estado de México y San Luis Potosí, atendiendo las peticiones de las autoridades locales (CONAGUA, 2024).

Además de las protestas, es importante aprender de ejemplos internacionales como el de Ciudad del Cabo, donde el concepto de "Día Cero" fue un catalizador para tomar acciones urgentes.

En un año, la ciudad logró restaurar el 80% de la capacidad de sus presas, gracias a medidas como la reutilización de aguas grises, la aplicación de multas, el aumento de

tarifas y el racionamiento del suministro en los hogares. También se redujeron las fugas y se implementaron cuotas en los sectores agrícola y comercial (Edmond, 2019).

Estas acciones subrayan la necesidad de la participación activa de todos los sectores, desde los responsables políticos y legislativos hasta los organismos de suministro de agua y los propios consumidores, para enfrentar y mitigar los impactos de la escasez de agua.

A nivel global, se prevé que en un futuro cercano aumenten los conflictos relacionados con la gestión y distribución de los recursos hídricos. Investigadores como Padilla Calderón (2012), UNESCO (2009) y Toledo (2002) han señalado esta tendencia. Los estudios de ³ Becerra Pérez et al. (2006), Zeitoun y Warner (2006), Sainz y Becerra (2003), López Morales et al. (2017), Pacheco-Vega (2017) y Martínez et al. (2017) también destacan la intensificación de los enfrentamientos por el agua en diversas regiones del mundo.

Conclusiones

La distribución y disponibilidad de agua dulce a nivel global plantea un desafío significativo, ya que solo una pequeña fracción de este recurso está disponible para satisfacer las diversas necesidades vitales y económicas. A pesar de las advertencias sobre el aumento de la demanda y la reducción de la oferta de agua, la concentración urbana y el modelo económico neoliberal han acelerado la explotación de los recursos hídricos.

Esto se debe a los métodos convencionales ³ de producción y la apropiación privada de recursos comunes, así como a los altos niveles de consumo y contaminación generados por estos procesos.

La falta de acceso equitativo al agua potable es otro problema importante en la Zona Metropolitana de Pachuca, con disparidades significativas entre las colonias más marginadas y las de mejor situación socioeconómica. Esto refleja la necesidad de políticas y acciones dirigidas a mejorar la cobertura y el saneamiento del agua, así como a abordar las desigualdades sociales espaciales en la región.

El crecimiento urbano acelerado en la región, impulsado por migraciones desde la Zona Metropolitana del Valle de México, ha exacerbado estas problemáticas. Este crecimiento ha generado una mayor demanda de agua, afectando la disponibilidad del recurso y aumentando la presión sobre los acuíferos subterráneos. Además, la falta de planificación urbana adecuada ha contribuido a la contaminación del agua y a la disminución de las áreas de recarga de los acuíferos.

La escasez de agua es, en gran medida, una consecuencia de falta de planificación y de cuantificación de los recursos con los que se cuenta para satisfacer, de esa forma una demanda racional.

La planeación debe incluir la digitalización de fuentes y fugas, la distribución equitativa y adecuada de los recursos, programas de mantenimiento y conservación de las redes de distribución y saneamiento que minimicen la necesidad de rehabilitaciones. Esta situación, junto con la falta de respuesta oportuna a los problemas relacionados con el agua, hace que las poblaciones más desfavorecidas sean las más vulnerables ante cualquier cambio climático.

La gestión integrada del agua en la Zona Metropolitana de Pachuca enfrenta múltiples desafíos que requieren acciones coordinadas y sostenibles por parte de los responsables de las políticas públicas, las instituciones, la sociedad civil y el sector privado.

Es fundamental adoptar medidas efectivas para garantizar un suministro seguro y sostenible de agua para todos los habitantes y para proteger los recursos hídricos a largo plazo.

Mientras no haya ³ una intervención más decidida por parte de los responsables de las políticas públicas, la construcción de viviendas y otras infraestructuras urbanas seguirá consumiendo las reservas de agua y obstaculizando la recarga de los acuíferos, lo que eventualmente llevará a la insostenibilidad urbana.

Aunque la investigación puede proporcionar nuevas perspectivas para abordar estos problemas, es fundamental que los administradores públicos, las universidades y el sector privado lideren la planificación y el desarrollo territorial con el objetivo de promover el bienestar colectivo.

Referencias

- Agua.org.mx. (10 de febrero de 2024). El "Día Cero": Entre la cobertura mediática y la realidad cotidiana. Recuperado de <https://agua.org.mx/actualidad/el-dia-cero-entre-la-cobertura-mediatica-y-la-realidad-cotidiana/>
- Arellano Islas, S. (2016). Problemática del agua en la Zona Metropolitana de Pachuca. *Revista Electrónica Agua y Saneamiento*.
- Arrojo, P. (2009). El reto ético de la crisis global del agua. *Relaciones Internacionales*, 1(12), 33-53. Recuperado de: <https://revistas.uam.es/relacionesinternacionales/article/view/4979/5442>
- Becerra Pérez, M. et al. (2006). Los Conflictos por agua en México: Diagnóstico y análisis. *Gestión y política pública*, 1(15), 111-143. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v15n1/1405-1079-gpp-15-01-111.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2023). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautitlán-Pachuca (1508). Recuperado de: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/edomex/DR_1508.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (06 de febrero de 2024). Informe semanal del Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas. Sesión informativa 1929. Gobierno de México.
- Edmond, C. (23 de agosto de 2019). Cape Town almost ran out of water. Here is how it averted the crisis. *World Economic Forum*.
- Granados Alcántar, J. A. (2007). Las corrientes migratorias en las ciudades contiguas a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: el caso de la aglomeración urbana de Pachuca. *Estudios demográficos urbanos*, 22(3), 619-649. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v22n3/2448-6515-educm-22-03-619.pdf>
- Huizar-Álvarez, R. (1997). Hydrochemistry of the aquifers in the Rio las Avenidas basin, Pachuca, Hidalgo, Mexico. *Water Air Soil Pollute*, 1(96), 185–201. <https://doi.org/10.1007/BF02407204>
- Huizar Álvarez, R. (1993). Carta hidrogeológica de la cuenca del Río de las Avenidas, de Pachuca, Hgo., México. *Investigaciones Geográficas*, 1(27), 95-131. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n27/n27a4.pdf>
- INEGI. (2020). Censo de población y Vivienda. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#documentacion>
- Izazola, H., & Carmo, R. L. (2004). México e São Paulo: expansão metropolitana, desigualdade social e a questão da água. I Congresso da Associação Latino-americana de População. Recuperado de https://files.alapop.org/alap/images/PDF/ALAP2004_258.pdf
- Legorreta Gutiérrez, J. (1997). Agua de lluvia, la llave del futuro en el Valle de México. *La Jornada Ecológica*, año 5 número 58, 28 de julio, México, D.F.

- Legorreta Gutiérrez, J. (2006). *El agua y la Ciudad de México: de Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. UAM-Azcapotzalco. Recuperado de <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5077>
- López Morales, C. A. et al (2017). *El Agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. Fundación Friedrich-Stiftung, México. Recuperado de: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/14377.pdf>
- Manetta, A. y Serrano-Avilés, T. (2019). *Desigualdades y acceso al agua potable entubada en la Zona Metropolitana de Pachuca, México, 2015*. *Antropología Americana* 4 (8)
- Martínez Ruíz, J. L., et al. (2017). *Conflictos por el agua y alternativas en los territorios indígenas de México*. IMTA. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1839?locale-attribute=en>
- Neri-Ramírez, E., et al. (2017). *Evaluación de la sustentabilidad del acuífero Cuautitlán-Pachuca mediante el uso de la metodología MESMIS*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(2), 273-285. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v19n2/v19n2a9.pdf>
- SEGOB. (2016). *Zonas Metropolitanas de México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/309818/2_Anexo_cartográfico_p_rimera_parte_correcciones_23_de_febrero.pdf.
- Pacheco Vega, R. (2017). *Conflictos intratables por el agua en México: el caso de la disputa por la presa El Zapotillo entre Guanajuato y Jalisco*. *Argumentos*, 27(74), 219-257. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/argu/v27n74/v27n74a9.pdf>
- Padilla Calderón, E. (2012). *La construcción social de la escasez de agua. Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial*. *Región y Sociedad*, (3), 91-116. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10223024003>
- Pérez Marcial, C. R. (2018). *Expansión de la ciudad en la zona metropolitana de Pachuca: procesos desiguales y sujetos migrantes e inmobiliarios*. *Territorios*, 1(38), 41-65. Recuperado de: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.5577>
- Ramírez, M. F., & Yepes, M. J. (2011). *Geopolítica de los recursos estratégicos: conflictos por agua en América Latina*. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 6(1), 149-165. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-30632011000100008&lng=en&tlng=es
- Rodarte García, R., et al. (2012). *Gestión del agua y reconstrucción de la naturaleza en el Valle del Mezquital*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5058/libro_gestion_agua.pdf

- López Morales, C.A. et al. (2017). *El Agua en México: Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. Fundación Friedrich-Stiftung, México. Recuperado de:
<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/14377.pdf>
- Sainz Santamaría, J., & Becerra Pérez, M. (2003). Los conflictos por el agua en México. *Gaceta Ecológica*, 1(67), 61-68. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/pdf/539/53906705.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente del Ambiente de Hidalgo. (s.f.). *Zonas Metropolitanas del Estado de Hidalgo*. Recuperado de:
<https://cambioclimatico.semarnath.gob.mx/webFiles/pagesFiles/14ZonasM.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente del Ambiente de Hidalgo. (2019). *Zonas Metropolitanas del Estado de Hidalgo*. Recuperado de:
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio_2019/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet29ca.html
- Servicio Meteorológico Nacional. (2024). Monitor de sequía de México al 15 de enero de 2024. Recuperado de:
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20240115.pdf>
- Solís, F., Hernández, A., & Venegas, P. (06 de febrero de 2024). Edomex registró 68 manifestaciones en enero por la falta de agua. *El Sol de Toluca*.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta ecológica*, 1(64), 9-18. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906402.pdf>
- UNESCO. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Recuperado de:
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103>
- UNESCO. (2009). *Water in a changing world: the United Nations world water development report*. Recuperado de:
<https://unesdoc.unesco.org/images/0018/%20001819/181993e.pdf>
- Vargas González, P. (2011). La Conflictividad en el proceso de metropolización de la ciudad de Pachuca. *Papeles de población*, 17(68), 127-146. Recuperado de:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/pp/v17n68/v17n68a6.pdf>
- Warner, J.F., & Meissner, R. (2021). Cape Town's "Day Zero" water crisis: ¿A manufactured media event? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1(64), 102481, ISSN 2212-4209
- Zeitoun, M., & Warner, J. (2006). Hydro-hegemony: a framework for analysis of transboundary water conflicts. *Water policy*, 8(5), 435-460.
<https://doi.org/10.2166/wp.2006.054>

Capítulo III. Riesgos en las operaciones de comercio exterior en la cadena de suministro de las PYMES

Joan Esteban Moreno Hernández*
Patricia Cano Olivos**
Diana Sánchez Partida***
Abel García Villagrán***

Resumen

Las PYMES son distinguidas para el progreso de una economía, la evolución del aparato productivo y el mejoramiento de la competitividad de un país. La internacionalización de las PYMES es relevante para los países, por su participación en el flujo de recursos, generación de capital neto aportando al desarrollo económico de las regiones por medio de las importaciones y exportaciones. El objetivo de esta investigación es identificar los riesgos que disrumpen las operaciones en la comercialización externa de las PYMES. Para ello, se realiza una profunda revisión de literatura para identificar los factores y variables más relevantes y clasificarlos en dos momentos. El primer momento en origen, a los cuales se les relacionan las variables como selección de proveedor, valor del producto, incoterm, selección del operador logístico internacional. El segundo momento es en destino, donde se involucran las variables como la normatividad aduanera, el arancel, el Impuesto del Valor Agregado tributario - IVA y el aliado estratégico en destino para el trámite aduanero y el transporte terrestre hasta el lugar de entrega.

23

* Doctor en Logística y dirección de la cadena de suministro. Profesor, Facultad de Ciencias Empresariales, Institución Universitaria de Envigado, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3426-906X>

** Doctora en Logística y dirección de la cadena de suministro. Profesora-investigadora, Departamento de Logística y Administración de Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1754-6619>

*** Doctora en Logística y dirección de la cadena de Suministro. Profesora-investigadora, Departamento de Logística y Administración de Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5771-1362>

*** Doctor en Logística y gestión de la cadena de suministro. Profesor, Instituto Tecnológico de Puebla, Universidad Madero en Puebla. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5520-900X>

Palabras clave: *riesgos en la cadena de suministro, resiliencia, comercio exterior, competitividad, PYMES*

Introducción

6

Las PYMES en el mundo están visualizando y haciendo transformaciones en el esquema logístico debido a los cambios que se presentan en los procesos de comercialización o distribución, así como las crecientes y cambiantes exigencias de los clientes y consumidores. Algunos elementos que han influenciado estos cambios han sido la globalización, la apertura a nuevos mercados, el crecimiento de la población en ciudades principales, los nuevos canales de comercialización, las nuevas tecnologías, el impacto en el medio ambiente entre otros. Este escenario, ha generado un gran reto para las cadenas de valor, lo cual conlleva a reinventarse pasando de ser cadenas de suministro tradicionales, pasivas y conservadoras a redes de valor ágiles, flexibles, adaptables, centradas en el cliente, rentables, innovadoras y sustentables.

Este tipo de empresas por su tamaño y la manera de operar en su día a día, deben analizar el contexto en el cual se desenvuelven, identificar los factores y riesgos a la hora de realizar operaciones de comercio exterior, trabajar asociativamente con aliados estratégicos que contribuyan y fortalezcan a su cadena de suministro y que impacten de manera positiva la competitividad empresarial de las mismas.

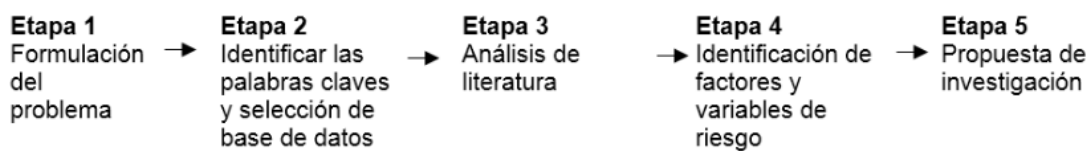
En el ámbito internacional las PYMES juegan un rol en los negocios empresariales, debido a que son identificadas como la columna vertebral de la economía mundial, América Latina no es la excepción en importancia y participación económica, ya que aportan al desarrollo de las regiones, pero estas deben enfrentarse a las exigencias empresariales como son; ser cada vez más competitivas, producciones con alta calidad, innovación y transformación constante de sus productos y servicios, además, de superar barreras globales en economías proteccionistas (Franco-Ángel & Urbano, 2014). Es importante realizar la descripción de los diferentes riesgos e incertidumbre de las operaciones de comercio exterior que enfrentan las PYMES para crear estrategias de respuesta rápida que permitan minimizar y/o evitar disrupciones en la cadena de suministro.

Metodología

La investigación se realizó en varias etapas como se describe en la figura 1, las cuales permitieron identificar algunos riesgos y variables de diferente naturaleza como se describirán en los siguientes apartados.

Figura 1

Etapas de la metodología implementada



Fuente: elaboración propia.

Etapa 1. Formulación del problema

Tanto las PYMES como proveedores y operadores logísticos han perdido flexibilidad, y más aún cuando las operaciones de comercio exterior son complejas, cabe señalar que, la preparación de las organizaciones, y el servicio al cliente alineado a la entrega oportuna de los productos está en constante evolución, donde los clientes exigen tiempos más rápidos en las entregas de los productos o servicios adquiridos, los nuevos esquemas de entrega a domicilio y actividades adicionales como la recolección del dinero y documentación en cualquier lugar, los volúmenes de entrega cada vez son mayores, la recolección de las devoluciones requiere de precisión, control y en el menor tiempo posible.

Lo anterior son algunos cambios que se vienen experimentando. Así que, los riesgos de la cadena de suministro en las PYMES con operaciones de comercio exterior es primordial analizar, que estén alineados a una fácil operatividad con reacciones rápidas a los cambios pero que generen un menor impacto en los costos asociados e incrementen el servicio al cliente. Solo así, las PYMES que tengan la destreza en acomodarse fácilmente en las necesidades del cliente, como la habilidad en disipar situaciones de manera inmediata garantizará el éxito y la perdurabilidad en la relación comerciales a

nivel nacional e internacional. Con base a lo anterior, en esta investigación se pretende identificar los riesgos de las PYMES y como estos impactan en la cadena de suministro.

Etapas 2. Identificación de palabras claves

La búsqueda en la base de datos de Scopus se realizó en función a cinco palabras claves con la finalidad de identificar los artículos alineados a la investigación dentro del periodo anual 2013 y 2022; teniendo como resultado, competitividad 62 documentos, operaciones de comercio exterior 42, riesgos en la cadena de suministro 1259, resiliencia en la cadena de suministro 530 y cadena de suministro 751.

Etapas 3. Análisis de literatura

La revisión de literatura se realizó con el método *Systematic Literature Review* – SLR (Denyer & Tranfield, 2009), el cual es un enfoque deductivo que extrae los factores que más influyen en una investigación.

Los riesgos en la operatividad del comercio exterior, son aquellas variables que afectan la cadena de suministro de las PYMES a nivel nacional, político, comercial, social, económico, el desempeño logístico, servicio al cliente y el nivel de ingreso (Mena et al., 2022). Das et al., (2021) hablan de tres tipos de capacidades para anticiparse a los efectos negativos en las operaciones en una cadena de suministro; la capacidad de absorción, capacidad de adaptación y capacidad de recuperación. Vanany et al., (2021) interpretan el concepto de capacidad como la rápida respuesta ante una posible interrupción, para Lücker y Seifert (2017) debe existir una relación entre la capacidad de agilidad, el inventario de mitigación de riesgos y el abastecimiento dual para mitigar el riesgo operativo.

Los riesgos se deben abordar partiendo desde una óptica global y finalizando con el detalle de la operatividad de los diferentes actores que intervienen en esta, lo que se puede llamar integración de la cadena de suministro para avalar el beneficio y la resiliencia al riesgo (Nguyen et al., 2021). Grzybowska y Stachowiak (2022) establecen una revisión desde el ámbito político, económico, el entorno social, desarrollo tecnológico, además, del componente ecológico y legal – conocido como el análisis

PESTEL- lo cual se manifiesta en estrategias que garanticen la eficiencia y eficacia para dar continuidad a la cadena de suministro.

El efecto Brexit en la Unión Europea generó un impacto político, económico, social y legal. Hendry et al., (2019) analizan como las cadenas de suministro locales se preparan para responder a las amenazas y oportunidades que presenta un cambio político, y así desarrollar resiliencia a través de la mejora en la estrategia competitiva para el nuevo sistema comercial.

Después de la pandemia sufrida entre los años 2020 y 2021, las cadenas de suministros materializaron su fragilidad (Nikookar et al., (2021), lo cual quedó al descubierto con aquellas empresas que mostraban solidez y perdieron terreno, y otras se beneficiaron del desorden y la poca preparación en estrategias para la administración del riesgo en la cadena de suministro. Además, la pandemia forjó una presión sobre la infraestructura en la mayoría de los países, creando incertidumbre en la oferta y demanda, lo cual generó intermitencia en las cadenas de suministro globales (Ahlqvist et al., 2020).

Zhang et al., (2022) establecen que una operación compleja aumenta los costos así que se debe mejorar la estructura y los procedimientos aduaneros. Delfim et al., ((2021), expresan que los costos logísticos son los principales factores a mitigar para una mejor posición competitiva a nivel país. Las operaciones de comercio exterior se ven perjudicadas de manera constante por las disputas comerciales internacionales (Gao & Liu, 2022). Por tal motivo, se deben buscar facilidades comerciales entre países y generar compromisos entre las partes que dependerá del nivel de desarrollo país, competitividad, tamaño de la población, capacidad para controlar la corrupción y apoyo internacional a través de acuerdos comerciales (Hillberry & Zurita, 2022). A lo anterior, Laget et al., (2020) aclaran en su investigación que los países firman acuerdos comerciales preferenciales como estrategia para generar operaciones de cadena de valor global. Shukla et al., (2020) mencionan otra posibilidad de internacionalización como lo es la inversión extranjera.

Las PYMES juegan un papel fundamental para la economía mundial generando empleo, ingresos, disminución de pobreza y activación de la productividad. Lederman et al.,

(2014) manifiestan que de acuerdo al estudio de algunas entidades supranacionales en la región el 90% de las empresas pueden ser consideradas PYMES. Por tal motivo, se debe analizar la definición de PYMES en diferentes países.

De acuerdo a lo anterior, para la Unión Europea, las PYMES se unifican en micro, pequeñas y medianas empresas con un tope máximo de 250 empleados en ellas. Otro país que se debe tener como punto de referencia en la definición es Estados Unidos, quienes definen a las PYMES solamente en pequeñas empresas con un máximo de 500 empleados (CEPAL, 2009).

Al analizar algunas definiciones, se puede mencionar a Chile, el cual definen a las pequeñas entre 10 y 49 empleados y unos ingresos USD 1.032.500 y las medianas entre 50 y 199 empleados con unos ingresos USD 4.130.000. En México a su vez, las pequeñas empresas si son del sector *industry and service* entre 11 y 50 empleados y en el sector *trade* 11 y 30 empleados. Las medianas en el sector *trade* entre 31 y 100 empleados. *Service* entre 51 y 100 empleados y en sector *industry* entre 51 y 250 empleados (OECD & America, 2019). Para Colombia la categorización de las PYMES se estableció a través del decreto 957 del año 2019. El manufacturero, las pequeñas se clasifican por sus ingresos ordinarios anuales superior a 204.995 UVT. Las medianas por sus ingresos ordinarios anuales superior a 204.995 UVT e inferior o igual a 1.736.565 UVT. Para el sector servicio, las pequeñas se clasifican por los ingresos anuales superior a 32.988 UVT e inferior o igual a 131.951 UVT. Las medianas por sus ingresos ordinarios anuales superior a 131.951 UVT e inferior o igual a 483.034 UVT. Comercio, las pequeñas se clasifican por los Ingresos ordinarios anuales superior a 44.769 UVT e inferior o igual a 431.196 UVT. Y las medianas por sus ingresos ordinarios anuales superior a 431.196 UVT e inferior o igual a 2.160.692 UVT (Ministerio de Comercio, 2019).

Etapas 4. Identificación de factores y variables de riesgo

Cada pyme que tome la decisión de expandir su negocio a través de las operaciones de comercio exterior, encontrará un mundo lleno de oportunidades, teniendo en cuenta los riesgos que se asumen al enfrentar nuevos retos en el mundo del comercio internacional. Para tal fin, es importante sacarle provecho a los diferentes acuerdos comerciales con

los que cuenta un país, identificar los beneficios y disminuir los riesgos económicos generando cadenas de valor globales (Laget et al., 2020). Mira et al., (2019) mencionan que existen impactos o situaciones macroeconómicas que afectan a las organizaciones aumentando su demanda y el número de clientes como estrategia comercial de internacionalización.

Según la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales colombiana, un riesgo es la opción de que suceda algo que podría tener un impacto en los objetivos de una organización (DIAN, 2020). A partir de este concepto se pueden identificar los riesgos que existen en las operaciones de comercio exterior para las PYMES. Un riesgo en una cadena de suministro es una inseguridad o acontecimiento impredecible que impacta a uno o más protagonistas del entorno empresarial, lo cual afecta negativamente para el cumplimiento de los objetivos (Foroughi et al., 2006).

Los términos de negociación internacional -Incoterms, son utilizados como un contrato de voluntades de compra y venta de productos. Son los encargados de estipular las obligaciones, restricciones y responsabilidades entre el comprador y el vendedor (Bergami & Tichá, 2022). Baena-Rojas y Cano (2022) mencionan que se debe establecer el incoterm negociado para identificar los costos que pueden afectar una operación de comercio exterior.

La relación cliente – proveedor puede generar un riesgo al momento del pago internacional de la mercancía y que no se reciba el producto esperado. Este riesgo se ha incrementado por los ataques cibernéticos o relacionados con los avances tecnológicos. Por eso es de suma importancia que las PYMES antes de cualquier compra – venta internacional realicen un proceso de búsqueda y validación del proveedor antes de realizar un pago de manera anticipada. La globalización permite la búsqueda de nuevos proveedores (Liu & Natalia, 2021), pero que estos sean resilientes como lo expresa (Leong et al., 2022) y no depender de una sola fuente de suministro (Javorcik, 2020). De la negociación que se pueda dar entre un comprador y vendedor como resultado se obtiene un precio de las materias primas, insumos, o productos terminados que se está transando. Para lo cual surge un riesgo relacionado al precio, la oferta y la demanda (Ash et al., 2022).

Los riesgos financieros o cambiarios son aquellos que se derivan de las tasas de interés de las instituciones financieras, el uso de los instrumentos de transacciones bancarias internacionales, la tasa representativa del mercado o tasa de cambio por tipo de divisas o moneda extranjera (Verheyen, 2015). Este riesgo se relaciona con un riesgo político de acuerdo al índice de competitividad país y a las calificadoras internacionales. En el mundo existe un indicador de riesgo país establecido por el Banco Mundial el cual puede afectar la percepción o la impresión de los países al momento de realizar negociaciones internacionales (Didier, 2019). Además, los cambios de gobierno, calificaciones de indicadores de riesgo país por el banco mundial, las guerras, pandemias, disturbios civiles, catástrofes naturales que afecten la transacción de bienes tangibles e intangibles que generen un impacto a las políticas de comercio exterior se establece como riesgos internacionales en un país (Hansen et al., 2017).

Se puede analizar los riesgos políticos como las medidas adoptadas por cada país para el ingreso y salida de mercancías, lo cual genera cambios o inestabilidad en los gobiernos (Hsu et al., 2021), que de una manera u otra afectan los intereses económicos de las PYMES debido a las leyes internas que generan un impedimento para cumplir con el contrato de recepción o envío de mercancía, cumplimiento de los tratados de libre comercio y barreras culturales (Sood, 2021). Además, de las barreras arancelarias (Ali et al., 2017), las cuales impactan a las PYMES, y los complejos procedimientos normativos de aduanas (Zhang et al., 2022) que aumentan los costos asociados a una operación de comercio exterior.

En el movimiento de bienes de un lugar a otro en el comercio exterior, se pueden identificar situaciones que afecten el servicio y conlleve a sobre costos en el transporte internacional, férreos, fluviales, terrestre, aéreo o marítimo, guerras comerciales, escasez de contenedores, cierre o congestión en los puertos, aeropuertos, incremento en los fletes, además de los tiempos de embarque y transito internacional (Tubis & Werbińska-Wojciechowska, 2017). Por lo cual, se debe de establecer como una variable a analizar el transporte internacional ya que esta actividad es fundamental en la cadena de suministro (Grzelakowski, 2022), y es indispensable para la estrategia logística del transporte internacional para las PYMES (Afonichkina et al., 2020).

De acuerdo al análisis bibliográfico sobre comercio exterior y los riesgos a los que se ven inmersas las PYMES en su cadena de suministro, por criterio de los autores se proponen 4 factores así; de riesgo político (tabla 1), social (tabla 2), económico (tabla 3), y legal (tabla 4), que, a su vez, se establecen 11 variables soportados con algunos autores como se muestra a continuación;

Tabla 1

Factor de riesgo político

Factor	Variable	Aporte/Autor
Político	País	La tasa de cambio es determinante en el comercio internacional (Verheyen, 2015).
		Riesgo político, incertidumbre externa (Hansen et al., 2017).
		El “poder blando” y la impresión y percepción entre personas y países (Didier, 2019).
		Aumento de los precios y el número de clientes (Mira et al., 2019).
		La inversión extranjera es una estrategia comercial (Shukla et al., 2020).
		Los costos logísticos se deben mitigar para mejorar la posición del país en el exterior (Delfim et al., 2021).
		Análisis político desde el comercio exterior frente a mercados globales (Sood, 2021).
Inestabilidad política (Hsu et al., 2021).		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2*Factor de riesgo social*

Factor	Variable	Autor/Aporte
Social	Proveedor	Se debe diversificar las fuentes de suministro (Javorcik, 2020). La globalización permite la búsqueda de nuevos proveedores (Gao y Liu, 2022). Selección de proveedores resilientes en comercio exterior (Leong et al., 2022).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3*Factor de riesgos económicos*

Factor	Variable	Autor/Aporte
Económico	Arancel	Como las barreras arancelarias impactan a las pymes (Ali et al., 2017).
	IVA	El transporte marítimo es vital en la cadena de suministro (Grzelakowski, 2022).
	Transporte internacionalización	La importancia del transporte internacional en la logística (Afonichkina et al., 2020)
	Acuerdos Comerciales/ TLC	Los acuerdos comerciales fomentan operaciones de cadena de valor globales. Lo define como económico (Laget et al., 2020).
	Legalización cargas normatividad aduanera	de Los complejos procedimientos por aumentan los costos. Se deben optimizar los procedimientos de aduanas (Zhang et al., 2022).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4

Factor de riesgos legales

Factor	Variable	Autor/Aporte
	Precio	La oferta, el precio y la demanda son parámetros inciertos (Ash et al., 2022).
Legal	Término de negociación (Incoterms)	Los costos son fundamental en una operación de comercio exterior (Baena-Rojas y Cano, 2022).
	Seguro en el transporte internacional	Disminuir el riesgo asociados a las entregas físicas de mercancía (Bergami y Tichá, 2022).

Fuente: elaboración propia

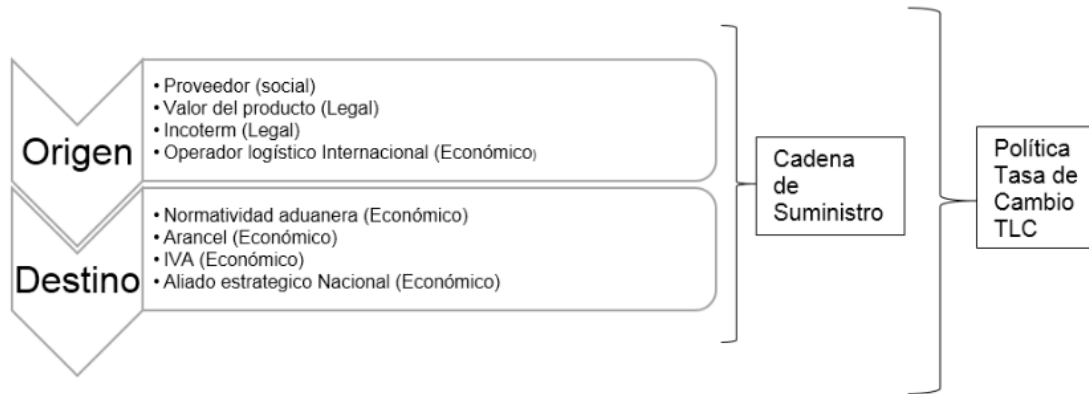
Etapa 5. Propuesta de investigación

Lo que se busca con esta propuesta de investigación es identificar los diferentes riesgos que establece la literatura, pero ubicándolos en dos momentos. Un primer momento llamado origen y un segundo momento destino. Como se muestra en la figura 2, se identifican unos riesgos en origen, los cuales hacen referencia al lugar donde se deben identificar unas variables asociadas al país con el que se busca una posible negociación, para luego tomar la mejor decisión en cuanto a recargos en origen, ubicación para el transporte internacional y responsabilidades entre las partes. En el destino se resaltan los riesgos que se generan en el país al cual se destina la llegada del producto o bien negociado, involucrando variables como la normatividad aduanera, beneficios arancelarios, costos tributarios, tarifas de los tramites de aduana por tipo de producto. Por último, se debe generar un análisis político y financiero durante toda la cadena de suministro, ya que el contexto global puede involucrar variables como el perfil del país, el

tipo de cambio, o por acuerdos comerciales, además, del impacto financiero de los costos asociados, los cuales están inmersos en todo momento de la operación de comercio exterior.

Figura 2

Propuesta esquema de investigación



Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso será obtener la información del sector real con una salida de campo y aplicar un instrumento de medición para plantear la relación que puede existir entre la literatura científica y las PYMES con operaciones de comercio exterior. Una vez alcanzada la información de fuentes principales, se buscará realizar un análisis de correlación entre las diferentes variables, para demostrar un orden de importancia de los mismos, y a través de un mapa de calor entregar un instrumento para tomar decisiones gerenciales, generar estrategias de mejora, de planeación, y de control del riesgo. Además, como lo plantean Pinheiro de Lima et al., disminuir la fragilidad en la cadena de suministro, y así poder optimizar los recursos, procesos y servicios de forma eficiente y asertiva (2017).

Discusiones y conclusiones

Los riesgos de la cadena de suministro están representados por algún evento amenazante que interrumpa o restrinja inesperadamente el flujo de material, o detener directamente las actividades logísticas o de fabricación programadas.

La coordinación de una cadena de suministro incluye identificar los riesgos, el análisis y la implementación de medidas contra los posibles efectos. Para lo cual, cuando se habla de riesgo político a la hora de establecer estrategias de internacionalización, se debe contemplar la posibilidad de negociaciones con países que tengan acuerdos comerciales para así lograr algún beneficio arancelario y no encontrar trabas en la operatividad. Como lo establece Gutiérrez Fernández y Pérez-Suárez (2017), la penetración a mercados internacionales se debe dar cuando se tiene una ventaja competitiva. Aunque abran algunos países que por su riesgo económico y político se ven inmersos en generar algunas barreras para-arancelarias como son boicots, terrorismo, contrabando, controles económicos a los subsidios comerciales como lo establece (Kusrini y Hanim (2021).

La globalización conlleva a las aperturas económicas internacionales, impactos en el desempeño logístico de un país, niveles de medición en el servicio al cliente, y la intervención del gobierno. Por lo anterior, el autor (Mena et al., 2022) lo establece como un riesgo político y económico.

En el factor legal se establecen las variables como el precio y los términos de negociación internacional – Incoterms. Los cuales pueden tener afectación por la incertidumbre de la oferta y la demanda o en ciertas épocas del año. Para lo cual Baig et al., manifiesta que la variable del precio se puede mitigar compartiendo información de proyecciones de compra en el año, compartiendo información en tiempo real, generando trazabilidad y transparencia al momento de la negociación (2022). Por su parte Zhang et al., (2020) aclara que la fluctuación del precio causa caída de las ganancias a las partes involucradas.

En el factor social se tiene la variable proveedor, el cual juega un rol desde la prenegociación, este actor es fundamental para tener claridad frente al tipo de insumo, materia prima o producto que se está tratando, conocer las condiciones de tiempo y lugar, los requerimientos de las partes y no depender de un solo abastecedor. A lo anterior el

autor (Wieteska, 2020) determina que el proveedor afecta el grado de riesgo en una cadena de suministro de manera directa o indirecta. Javorcik (2020) aclara que se debe contar con varios proveedores. (Lopes y Rodriguez-Lopez, (2021) establecen que la variedad de proveedores se da de acuerdo a precios bajos y calidad del producto. Por su parte, el autor Sahebjamnia (2020), le suma que al momento de elegir un proveedor se debe tener en cuenta entrega, tecnología, continuidad y competencias ambientales.

La tasa de cambio se puede catalogar como un riesgo financiero. Yu et al.,(2019) manifiesta que el riesgo financiero tiene repercusiones en el desempeño de la cadena de suministro. Jiang et al (2022), en su investigación relaciona el riesgo financiero con el riesgo crediticio que pueden tener las PYMES. Gaudenzi et al.,(2021) declaran que los riesgos financieros son causados por las fluctuaciones desfavorables en los costes de los insumos o materia prima. Por su parte, Zhang et al., (2021), expresan que las tasas de interés bajo financiamiento bancario y crédito comercial afecta el desempeño de las PYMES a lo largo de la cadena de suministro. Además, de lo anterior, Wang et al., (2020) incluyen el concepto de desarrollo de ciudades y finanzas inteligentes, ya que los riesgos financieros son complejos y se dificulta su identificación y medición con precisión, lo que conlleva análisis macroeconómicos y microeconómicos.

Con base a lo explicado anteriormente, y para efectos de este trabajo, se toma la variable tasa de cambio o riesgo financiero dentro del factor político, por la relación que genera la tasa de cambio en un país al generar movimiento de divisas, estabilidad de gobiernos, políticas públicas económicas, decisiones de los bancos emisores de papel moneda, la inflación por decisiones burocráticas, además del desempeño del país.

Referencias

Afonichkina, E. A., Teplaya, K. V., Bolshakova, A. V., Krasnozhenova, E. E., & Safonova, A. S. (2020). Approaches to Assess the Impact of Global Trends of International Logistics Companies' Activities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

- Ahlqvist, V., Norrman, A., & Jahre, M. (2020). Supply chain risk governance: Towards a conceptual multi-level framework [Article]. *Operations and Supply Chain Management*, 13(4), 382-395. <https://doi.org/10.31387/oscm0430278>
- Ali, I., Nagalingam, S., & Gurd, B. (2017). Building resilience in SMEs of perishable product supply chains: enablers, barriers and risks [Article]. *Production Planning and Control*, 28(15), 1236-1250. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1362487>
- Ash, C., Diallo, C., Venkatadri, U., & VanBerkel, P. (2022). Distributionally robust optimization of a Canadian healthcare supply chain to enhance resilience during the COVID-19 pandemic [Article]. *Computers and Industrial Engineering*, 168, Article 108051. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108051>
- Baena-Rojas, J. J., & Cano, J. A. (2022). TECHNIQUE FOR ESTIMATION OF COSTS AND PRICES IN CONTRACTS FOR THE INTERNATIONAL SALE OF GOODS BASED ON INCOTERMS® [Article]. *Acta Logistica*, 9(2), 171-181. <https://doi.org/10.22306/al.v9i2.291>
- Baig, M. M. U., Ali, Y., & Ur Rehman, O. (2022). ENHANCING RESILIENCE OF OIL SUPPLY CHAINS IN THE CONTEXT OF DEVELOPING COUNTRIES [Article]. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 5(1), 69-89. <https://doi.org/10.31181/oresta210322091b>
- Bergami, R., & Tichá, L. (2022). Managing Incoterms® 2020 export risks [Article]. *International Journal of Economics and Business Research*, 23(2), 255-273. <https://doi.org/10.1504/IJEER.2022.120651>
- CEPAL. (2009). *Manual de la Micro Pequeña y Mediana Empresa*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2022/1/Manual_Micro_Pequena_Mediana_Empresa_es.pdf
- Das, K., Annand, A., & Ram, M. (2021). A Global Supply Network Design Model: A Resilient Management Approach [Article]. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 6(2), 660-676. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2021.6.2.041>
- Delfim, L. M., da Silva, P. H. M., Silva, J. F., & Leite, M. S. A. (2021). Analysis of activities that generate logistical costs in an operation in Brazil to import a containerized

- cargo: a case study [Article]. *Production*, 31, 1-18. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210027>
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). [Article]. *Chapter 39: Producing A Systematic Review*, 671e689.
- DIAN. (2020). *Operador Económico Autorizado*. Retrieved 18 from <https://www.dian.gov.co/aduanas/oea/inicio/Documents/PRESENTACION-RIESGOS-PARA-ASOCIADOS-DE-NEGOCIO-OEA-MAYO-2020.pdf>
- Didier, L. (2019). Soft power and exporters behavior in international trade [Article]. *Economics Bulletin*, 39(4), 2595-2614.
- Foroughi, A., Albin, M., & Kocakulah, M. (2006). Perspectives on global supply chain supply-side risk management. 2006 Technology Management for the Global Future-PICMET 2006 Conference,
- Franco-Ángel, M., & Urbano, D. (2014). Dinamismo de las PYMES en Colombia: un estudio comparativo de empresas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 19(66), 319-338.
- Gao, Y., & Liu, Y. (2022). Construction and Application of International Commercial Dispute Resolution Mechanism Model [Article]. *Security and Communication Networks*, 2022, Article 2978056. <https://doi.org/10.1155/2022/2978056>
- Gaudenzi, B., Zsidisin, G. A., & Pellegrino, R. (2021). Measuring the financial effects of mitigating commodity price volatility in supply chains [Article]. *Supply Chain Management*, 26(1), 17-31. <https://doi.org/10.1108/SCM-02-2020-0047>
- Grzybowska, K., & Stachowiak, A. (2022). Global Changes and Disruptions in Supply Chains—Preliminary Research to Sustainable Resilience of Supply Chains [Article]. *Energies*, 15(13), Article 4579. <https://doi.org/10.3390/en15134579>
- Gutiérrez Fernández, A., & Pérez-Suárez, M. (2017). The export competitiveness of social enterprises as compared to with export smes [Article]. *Revista Galega de Economía*, 26(1), 55-72. <https://doi.org/10.15304/RGE.26.1.4453>
- Hansen, C., Mena, C., & Skipworth, H. (2017). Exploring political risk in offshoring engagements [Article]. *International Journal of Production Research*, 55(7), 2051-2067. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1268278>

- Hendry, L. C., Stevenson, M., MacBryde, J., Ball, P., Sayed, M., & Liu, L. (2019). Local food supply chain resilience to constitutional change: the Brexit effect [Article]. *International Journal of Operations and Production Management*, 39(3), 429-453. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2018-0184>
- Hillberry, R., & Zurita, C. (2022). Commitment behaviour in the World Trade Organization's Trade Facilitation Agreement [Article]. *World Economy*, 45(1), 36-75. <https://doi.org/10.1111/twec.13165>
- Hsu, C. H., Chang, A. Y., Zhang, T. Y., Lin, W. D., & Liu, W. L. (2021). Deploying resilience enablers to mitigate risks in sustainable fashion supply chains [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5), Article 2943. <https://doi.org/10.3390/su13052943>
- Javorcik, B. (2020). Reshaping of global supply chains will take place, but it will not happen fast [Article]. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 18(4), 321-325. <https://doi.org/10.1080/14765284.2020.1855051>
- Jiang, W. H., Xu, L., Chen, Z. S., Govindan, K., & Chin, K. S. (2022). Financing equilibrium in a capital constrained supply Chain: The impact of credit rating [Article]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, Article 102559. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102559>
- Kusrini, E., & Hanim, K. (2021). Analysis of compliance and supply chain security risks based on ISO 28001 in a logistic service provider in Indonesia [Article]. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 11(2), 135-142. <https://doi.org/10.18280/ijssse.110202>
- Laget, E., Osnago, A., Rocha, N., & Ruta, M. (2020). Deep Trade Agreements and Global Value Chains [Article]. *Review of Industrial Organization*, 57(2), 379-410. <https://doi.org/10.1007/s11151-020-09780-0>
- Lederman, D., Messina, J., Pienknagura, S., & Rigolini, J. (2014). *El emprendimiento en América Latina: muchas empresas y poca innovación*. World Bank Publications.
- Leong, W. Y., Wong, K. Y., & Wong, W. P. (2022). A New Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Resilient Supplier Selection [Article]. *Applied System Innovation*, 5(1), Article 8. <https://doi.org/10.3390/asi5010008>

- Liu, P., & Natalia, K. (2021). The Role of Marketing Strategy in Entering the International Market. ACM International Conference Proceeding Series,
- Lopes, A. P., & Rodriguez-Lopez, N. (2021). A decision support tool for supplier evaluation and selection [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22), Article 12387. <https://doi.org/10.3390/su132212387>
- Lücker, F., & Seifert, R. W. (2017). Building up Resilience in a Pharmaceutical Supply Chain through Inventory, Dual Sourcing and Agility Capacity [Article]. *Omega (United Kingdom)*, 73, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.01.001>
- Mena, C., Karatzas, A., & Hansen, C. (2022). International trade resilience and the Covid-19 pandemic [Article]. *Journal of Business Research*, 138, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.08.064>
- Ministerio de Comercio, I. y. T. (2019). *Decreto 957 de 5 de junio de 2019*. Colombia Retrieved from <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20957%20DEL%2005%20DE%20JUNIO%20DE%202019.pdf>
- Mira, S. Š., Živka, M., Ilijana, P., & Angelina, M. (2019). Internationalization of Small and Medium-Sized Wood Industry Businesses. 30th International Conference on Wood Science and Technology, ICWST 2019 and 70th Anniversary of Drvna industrija Journal: Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, Proceedings,
- Nguyen, X. H., Le, T. A., Nguyen, A. T., Pham, T. T. H., & Tran, T. H. (2021). Supply chain risk, integration, risk resilience and firm performance in global supply chain: Evidence from vietnam pharmaceutical industry [Article]. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(4), 779-796. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.8.010>
- Nikookar, E., Varsei, M., & Wieland, A. (2021). Gaining from disorder: Making the case for antifragility in purchasing and supply chain management [Article]. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 27(3), Article 100699. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2021.100699>
- OECD, & America, C. D. B. o. L. (2019). *Latin America and the Caribbean 2019*. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1787/d9e1e5f0-en>

- Pinheiro de Lima, O., Breval Santiago, S., Rodríguez Taboada, C. M., & Follmann, N. (2017). Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25, 264-276.
- Sahebjamnia, N. (2020). Resilient supplier selection and order allocation under uncertainty [Article]. *Scientia Iranica*, 27(1 E), 411-426. <https://doi.org/10.24200/SCI.2018.5547.1337>
- Shukla, M., Pal, K., & Tiwari, M. K. (2020). A framework for understanding institutional factors affecting the success and failure of offshoring models in India [Article]. *International Journal of Production Research*, 58(19), 5911-5928. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1661533>
- Sood, M. (2021). INDONESIAN FOREIGN TRADE POLICY DEALING WITH THE GLOBAL MARKET IN FRAMEWORK ASEAN ECONOMIC COMMUNITY (AEC) [Article]. *Journal of Legal, Ethical and Regulatory Issues*, 24(1), 1-8.
- Tubis, A., & Werbińska-Wojciechowska, S. (2017). Risk assessment issues in the process of freight transport performance. *Journal of KONBiN*, 42(1), 235-253. <https://doi.org/doi:10.1515/jok-2017-0027>
- Vanany, I., Ali, M. H., Tan, K. H., Kumar, A., & Siswanto, N. (2021). A Supply Chain Resilience Capability Framework and Process for Mitigating the COVID-19 Pandemic Disruption [Article]. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3116068>
- Verheyen, F. (2015). The role of non-price determinants for export demand [Article]. *International Economics and Economic Policy*, 12(1), 107-125. <https://doi.org/10.1007/s10368-014-0281-z>
- Wang, K., Yan, F., Zhang, Y., Xiao, Y., & Gu, L. (2020). Supply Chain Financial Risk Evaluation of Small- And Medium-Sized Enterprises under Smart City [Article]. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, Article 8849356. <https://doi.org/10.1155/2020/8849356>
- Wieteska, G. (2020). The impact of supplier involvement in product development on supply chain risks and supply chain resilience [Article]. *Operations and Supply Chain Management*, 13(4), 359-374. <https://doi.org/10.31387/oscm0430276>

- Yu, W., Jacobs, M. A., Chavez, R., & Yang, J. (2019). Dynamism, disruption orientation, and resilience in the supply chain and the impacts on financial performance: A dynamic capabilities perspective [Article]. *International Journal of Production Economics*, 218, 352-362. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.013>
- Zhang, G., Wang, X., Gao, Z., & Xiang, T. (2020). Research on Risk Diffusion Mechanism of Logistics Service Supply Chain in Urgent Scenarios [Article]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Article 5906901. <https://doi.org/10.1155/2020/5906901>
- Zhang, H., Chen, Z., Zhang, D., Huo, J., & Li, Y. (2022). The Impact of a Complex Computer Numerical Model Based on Economic Cooperation on the Value Chain of International Trade Facilitation [Article]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, Article 2997825. <https://doi.org/10.1155/2022/2997825>
- Zhang, J., Zhang, Z., & Liu, Y. (2021). Impact of Interest Rate Risk on Supply Chain Network under Bank Credit and Trade Credit Financing [Article]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, Article 4718912. <https://doi.org/10.1155/2021/4718912>

Capítulo IV. Cerámica 4.0: la transformación digital del sector cerámico

Jorge Carro-Suárez*
Susana Sarmiento-Paredes**

Resumen

Digitalizar los sistemas de producción incorporando las tecnologías disruptivas de Industria 4.0 representa el nuevo reto para diversos sectores industriales. El manejo más eficiente de información, el uso de espacios virtuales y el desarrollo de nuevas tecnologías representan hoy en día nuevas ventajas competitivas que la industria debe reconocer y aprovechar. Bajo este contexto, el sector cerámico es uno de los que ya han iniciado este proceso con la búsqueda de mantener su competitividad en los mercados, de contar con capacidad de respuesta ante cambios inesperados y de prevalecer en el tiempo sin perder su calidad y su tradición. El objetivo del presente capítulo es presentar las oportunidades que Industria 4.0 ofrece al sector cerámico bajo el concepto de Cerámica 4.0 y en cómo éstas se visualizan para un futuro sustentable. A través de una revisión teórica se identificaron las tendencias de Cerámica 4.0 bajo tres enfoques: competitividad, innovación y desarrollo sustentable. En un sector industrial como lo es el cerámico, el control de la cadena de producción debe garantizar el correcto funcionamiento de todos sus componentes, respetando criterios de producción y calidad. Por ello, Cerámica 4.0 representa la nueva tendencia tecnológica que otros sectores industriales pueden y deben imitar para trascender y preservar su competitividad en el futuro.

* Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Programa Académico de Ingeniería, Profesor de tiempo completo, Universidad Politécnica de Tlaxcala, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-84642566>

** Doctora en Ciencias Administrativas, Facultad de Ciencias Económico-Administrativas. Profesora Investigadora de Tiempo Completo, Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-17149066>

Palabras clave: *cerámica 4.0, industria 4.0, sector cerámico, tecnologías digitales*

El sector cerámico en México y el Mundo.

El continuo aumento de las zonas urbanas, el desarrollo constante de los sectores industriales y el crecimiento de la población en todo el mundo representan hoy en día uno de los principales retos que enfrenta la sociedad ante la necesidad de contar con los recursos suficientes para subsistir. Asimismo, los efectos de la pandemia de Covid-19 en 2020 todavía se siguen resintiendo. La sociedad en general dejó de adquirir diversos productos dando prioridad a los más indispensables, razón por la cual, muchas empresas se vieron en la necesidad de reducir su producción y en muchos casos, tuvieron que reinventarse ante una nueva realidad, en donde las tecnologías digitales representaron una alternativa para perdurar en el tiempo. Ante este panorama, diversos sectores industriales se vieron más afectados que otros, en especial, aquellos que no estaban preparados para cambios económicos y sociales de esta índole, por lo que se vieron en la necesidad de modificar y en muchos casos, de cambiar sus modelos de negocios. De acuerdo con ²⁸ la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la crisis sanitaria golpeó con mayor severidad a sectores como el de servicios de turismo, hoteles y restaurantes, comercio, transporte, moda y vehículos automotores y partes. Sectores como la minería, construcción y materiales para la construcción, industria cerámica, química, muebles y madera experimentaron un impacto significativo, mientras que la agricultura, ganadería, pesca, alimentos insumos y equipo médico, medicamento y telecomunicaciones fue entre poco y moderado (CEPAL, 2020). No obstante, y a pesar de esta problemática que en general vivieron estos sectores, también ésta representó una oportunidad para justificar y acelerar cambios que ya se venían dando en la industria desde hace tiempo, especialmente, desde el punto de vista científico y tecnológico, en el cual, diversos sectores visualizaron nuevas oportunidades de negocio y crecimiento, siendo el sector cerámico uno de los más destacados gracias a su experiencia, a su capacidad económica y a su continuo desarrollo tecnológico

Previo a la pandemia de Covid-19 de 2020, el sector cerámico gozaba de un crecimiento constante en lo que se refiere a su producción. Sin embargo, en 2020 seis de los diez países con mayor producción a nivel mundial sufrieron una caída en su producción debido

principalmente al cierre de los mercados internacionales y a paros técnicos en las empresas por la contingencia sanitaria.

En Asia, China e India se mantuvieron a la cabeza del ranking con un crecimiento positivo, aunque menor en comparación con otros años. En Europa, la producción de los países que conforman la Unión Europea (UE) decayó en un 6.60% ya que España e Italia, dos de los principales productores tuvieron una caída en su producción. Italia sufrió un confinamiento nacional de seis semanas, lo que provocó una reducción en su producción del 14.2%. El resto de Europa se mantuvo estable gracias a la aportación de Turquía (25% de producción más que la realizada en 2019). La producción en América del Norte cayó un 2.7%, mientras que en América Central y del Sur, una región muy afectada por los confinamientos prolongados en 2020, la producción se redujo drásticamente, ya que Brasil, tercer productor y consumidor mundial experimentó una importante caída de su producción (-7.6% con respecto a 2019) debido principalmente a los confinamientos. África experimentó un crecimiento global del 6.1% a pesar de que Egipto, líder del continente, sufriera una caída del 5% en su producción. A nivel mundial, la producción se incrementó en un 1.7% (Baraldi, 2021).

Con respecto a 2021, la producción de recubrimientos cerámicos en el mundo experimentó un crecimiento inesperado alcanzando los 18,339 millones de metros cuadrados, lo que representó un incremento del 14.0% con respecto a la producción generada en 2020. Esto gracias a un fuerte aumento en la demanda de productos en todas las áreas geográficas. La producción en Asia aumentó un 4.90% alcanzando 13,600 millones de metros cuadrados, lo que equivale al 74% de la producción mundial gracias al aumento en los volúmenes producidos por China (+4.6%), India (+10%) e Indonesia (+34.9%). En Europa se produjeron un total de 2,124 millones de metros cuadrados (11.6% de la producción mundial), principalmente, impulsada por un fuerte crecimiento en la producción por parte de Italia, que alcanzó una producción record de 435 millones de metros cuadrados.

En el continente americano la producción creció hasta 1,737 millones de metros cuadrados. América del Norte (Canadá, Estados Unidos y México) creció en un 17.4%, mientras que América Central y del Sur experimentaron un aumento significativo del 24.5%, con un Brasil (+24.9%) que compensó con creces las pérdidas de 2020. La única

zona cuya producción se redujo en un 3.3% fue África debido principalmente a las fuertes recesiones en Argelia y en Nigeria (Ceramic World Web, 2021).

El crecimiento experimentado en 2021 alentó a las empresas del sector a considerar una recuperación económica por las pérdidas en 2020. No obstante, a mitad de 2022 se resintió una desaceleración general que detuvo de forma abrupta la producción por reducciones en el consumo, reduciendo por consecuencia los volúmenes de importación y exportación. La inflación en gran parte del mundo, la crisis energética y el enfriamiento de la demanda tras el auge pospandémico impactaron negativamente en el mercado mundial regresando casi a los niveles de 2019.

En 2022 la producción mundial de recubrimientos cerámicos bajó a los 16,762 millones de metros cuadrados, un 8.6% menos que en 2021. La producción en Asia se redujo en un 11.6% ya que China experimentó una pérdida de 1,800 millones de metros cuadrados. La reducción de la demanda interna y de exportación obligó a las empresas chinas a reducir su producción en un 40% de la capacidad instalada en el país. Las áreas geográficas restantes también experimentaron reducciones. Europa cayó un 8.4%, en gran medida debido a las caídas de Turquía y España. De la misma forma, el Continente Americano bajó su producción. Aunque América del Norte mantuvo un nivel similar al del 2021, la producción en Centro y Sudamérica se redujo un 8.4% debido a un fuerte impacto negativo en Brasil por la reducción de la demanda interna y de sus exportaciones en todos sus mercados clave. Sin embargo, en un marcado contraste, África experimentó un crecimiento del 13% gracias al aumento en la producción de Egipto, Argelia, Ghana, Kenia y Zambia (Ceramic World Web, 2022).

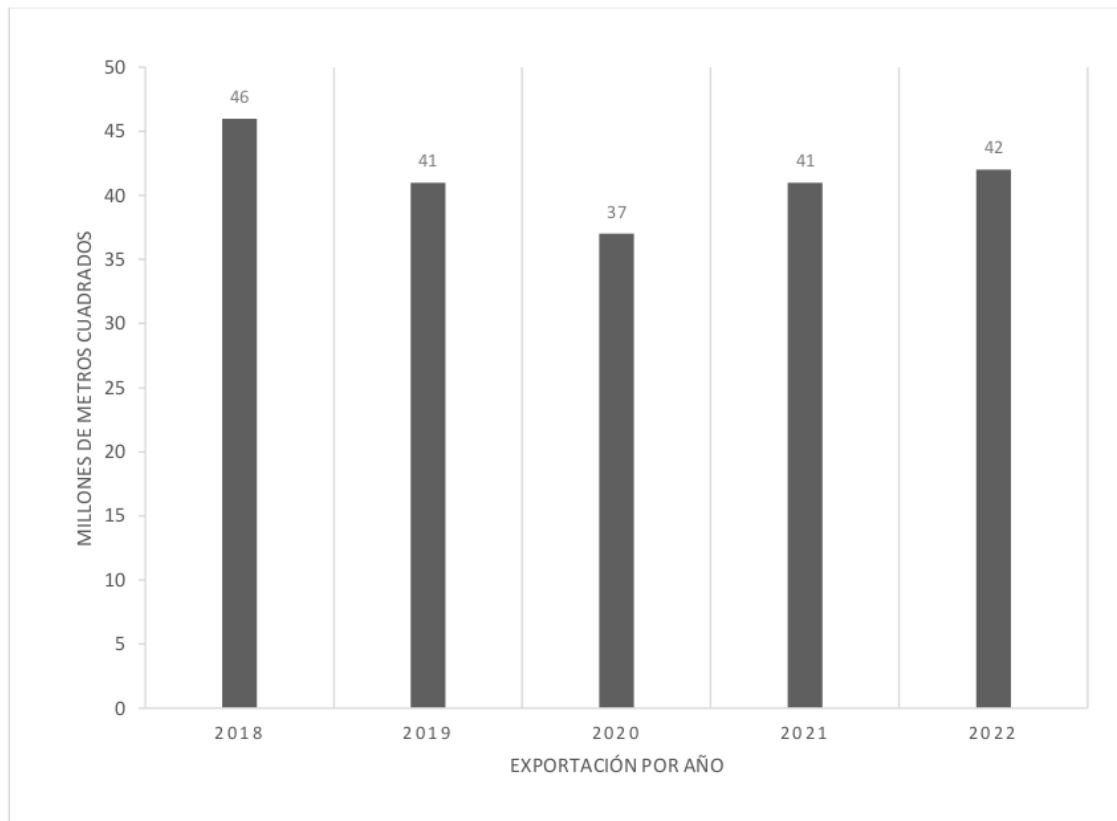
A pesar de esta inestable situación en los mercados internacionales, el sector cerámico ha logrado afrontar situaciones inesperadas como la crisis generada por la Covid-19 y el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, países que representan un mercado significativo de producción y consumo para productores de todo el mundo.

En relación a México, el sector cerámico se ha caracterizado por ser uno de los principales exportadores en el mundo, ocupando hasta 2022 el décimo lugar en el ranking mundial superado sólo por potencias productoras como China, España, India, Italia, Irán, Turquía y Brasil (Baraldi, 2023). En la figura 1 se muestra dicha evolución desde el 2018

a 2022, donde se resalta el efecto negativo que se experimentó entre 2019 y 2020, y el breve repunte que se ha tenido en 2021 y 2022.

Figura 1

Exportación de recubrimiento cerámico por México



Fuente: Baraldi (2023).

El mercado mexicano sufrió una caída tanto en producción como exportación entre 2019 y 2020. La pandemia de Covid-19 generó una gran reducción en el consumo de recubrimiento cerámico no sólo a nivel local, sino también internacional, con especial énfasis en América del Norte y América Latina. Sin embargo, de acuerdo con el Consejo Cerámico de Norteamérica (TCNA, por sus siglas en inglés), se estimó que en 2021 y 2022, el sector cerámico en México experimentó una recuperación económica del 4%, lo cual benefició aproximadamente a 20,000 empleos directos (Forbes México, 2021),

considerados en su mayoría en las 3 principales empresas fabricantes mexicanas, dos de la cuales, están ubicadas entre las 25 mayores empresas fabricantes de recubrimiento cerámico en el mundo.

Grupo Lamosa se consolidó en 2022 como el segundo mayor fabricante en el mundo ya que aumentó su producción hasta los 215 millones de metros cuadrados gracias a la compra e integración en 2021 de Roca Tiles y en 2022 de Fanosa Group, operaciones que representaron un aumento de ingresos del 22% en 2022 y que ahora representan una capacidad instalada de 240 millones de metros cuadrados producidos al año, de los cuales se exportan el 46%. Interceramic México se mantuvo en el lugar 20 en 2022 gracias a sus 44 millones de metros cuadrados de producción, de los cuales exportan el 24%. En lo que respecta a Cerámica Vitromex, ésta pasó a ser adquirida en junio de 2022 por el grupo estadounidense Mohawk Industries, lo cual, reforzó su posición como el primer lugar en el ranking mundial de fabricantes (Baraldi, 2023).

Estas proyecciones vislumbraban un mayor crecimiento en años siguientes. Aunque la pandemia de Covid-19 provocó directamente una caída en el consumo por dar prioridad a otros aspectos, el confinamiento en el que se vio inmerso gran parte de la sociedad también provocó cambios en las decisiones de consumo. Con el tiempo, y ante una nueva realidad económica, gran parte de la sociedad en el mundo dejó de gastar en viajes, eventos sociales y adquisición de artículos personales para pasar más tiempo en su casa. En adición a esto, el crecimiento del teletrabajo y el hecho de que ahora las personas prefieren reunirse en pequeños grupos ha dado paso a preferir remodelar y mejorar sus espacios propios para propiciar un mejor ambiente personal y de trabajo. La demanda de estos productos ha impactado en todos los sectores sociales, pues personas de bajos recursos han realizado compras minoristas para remodelar determinadas partes de sus casas, mientras que familias con mayor poder adquisitivo eligieron construir o remodelar en su totalidad (De Luna, 2021).

La visión en los próximos años, es que el desarrollo urbano y la industrialización sean quienes impulsen el crecimiento de la industria, y que la construcción de viviendas, oficinas, centros comerciales y otros lugares donde la gente se reúne y trabaja podría aumentar de forma significativa. Se estima que para 2027, el sector cerámico tendrá gran parte del mercado y generará alrededor de 100 mil millones de dólares, lo cual representa

una proyección muy alentadora, ya que, en comparación con otros productos -como la madera-, el recubrimiento cerámico es más barato, duradero y soporta mejor diversas condiciones climatológicas, lo que lo ubica como la mejor alternativa en aspectos de construcción para el futuro (Mordor Intelligence, 2023).

De Industria 4.0 a Cerámica 4.0

Industria 4.0 nace en 2011 como una nueva transformación industrial en la cual, las tecnologías de la información se combinan con las tecnologías de fabricación y manufactura, generando un valor adicional para la sociedad (Javaid et al., 2021). Es considerada como la etapa para digitalizar los procesos industriales y productivos, para promover el surgimiento de la inteligencia empresarial y potenciar la interconexión hombre-máquina (Lee et al., 2013). Industria 4.0 establece sus principios de aplicación bajo el enfoque de 9 pilares tecnológicos: el Big Data, ante la exorbitante adquisición de datos gracias a los cada vez más potentes dispositivos tecnológicos; los robots autónomos, ante la necesidad humana de garantizar mayor eficiencia al realizar trabajos peligrosos y repetitivos; la simulación, aprovechando el potencial de los espacios virtuales que facilitan la producción sin la necesidad de diseñar prototipos físicos; la integración de sistemas aprovechando la mayor conectividad para mejorar la productividad; el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), facilitando la comunicación, el almacenamiento y automatización de procesos aprovechando las redes informáticas; ciberseguridad, dando protección digital a los sistemas industriales digitalizados ante eventuales amenazas cibernéticas; la nube, garantizando espacios virtuales de almacenamiento de gran capacidad y fácil acceso; manufactura aditiva, proponiendo nuevas formas de producción personalizadas en menor tiempo; y la realidad aumentada/virtual, combinando el mundo físico con los entornos virtuales (Carro y Sarmiento, 2022).

Estos pilares dieron paso a un nuevo desarrollo industrial, en la que los sectores empresariales han visto una nueva área de oportunidad ante la necesidad de adaptarse a las condiciones y requerimientos actuales de los mercados y de la sociedad a nivel mundial.

Conceptos como Operador 4.0, Salud 4.0, Construcción 4.0, Logística 4.0 y Educación 4.0 establecieron un escenario que relacionó de forma directa con los principios reconocidos por Industria 4.0 con la sociedad del nuevo siglo, siendo Cerámica 4.0 uno de estos nuevos preceptos de dicha tendencia tecnológica.

Cerámica 4.0 nació ante la necesidad de que el sector cerámico también evolucionara hacia Industria 4.0, dando sus primeros pasos de forma muy puntual en determinadas áreas (maquinaria más moderna, mejoras en las líneas de producción, gestión de marketing...) pero no así en conjunto, por lo que no generaba un impacto real en toda la empresa ni generaba beneficios evidentes o tangibles. El sector cerámico requería de ciertas claves para alcanzar un verdadero desarrollo que se adecuara a las exigencias de Industria 4.0. Era importante el incorporar tecnologías de la información (TIC's) en sus procesos para hacerlos más eficientes, personalizar productos y reducir tiempos de respuesta, aumentar la conectividad con distribuidores para mejorar la comunicación, captar tendencias y nuevas necesidades aprovechando la generación y análisis interno de datos (información), todo debido a la importancia de adaptar sus productos y procesos a la nueva era digital, implementando tecnologías que resolvieran sus necesidades de forma eficiente considerándolas como sus nuevas alternativas para poder perdurar en el tiempo (Veral, 2019).

En este contexto, la Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER) menciona que el futuro del sector cerámico, bajo el enfoque de Cerámica 4.0 requiere adentrarse a nuevos retos en tres áreas muy específicas (ASCER, 2018):

- El diseño de productos: En este punto se especifica que la eficiencia energética seguirá siendo un aspecto clave para la producción, como una fuente de ahorro de energía y como una estrategia para generar productos más sostenibles. Asimismo, será determinante fomentar sistemas productivos enfocados hacia la personalización y consideración de nuevos materiales funcionales (antibacteriales, con determinadas propiedades técnicas, etc.) en otros sectores. Otros aspectos relacionados consideran la fabricación de productos que no dañen el medio ambiente, ya que este tema se ha convertido hoy en día en una cuestión determinante en las decisiones de compra para los consumidores.

- Atención al consumidor: Dentro de las principales cuestiones que afronta el sector para los próximos años es la de generar estrategias que le permitan estar en contacto directo con el usuario final de sus productos. Mejorar las herramientas de comunicación con el cliente, aprovechar las tendencias identificadas en el marketing, estudios aplicando herramientas online para conocer mejor a sus consumidores y buscar nuevos públicos y clientes potenciales (personas de la tercera edad, niños, con habilidades diferentes, etc.) son un ejemplo de estrategias a considerar.
- Tecnología para el futuro: De forma similar al diseño de productos, las situaciones relacionadas con el ahorro energético y la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de energía son los puntos más destacados por el sector en cuestiones tecnológicas. Áreas como la domótica y *smart cities*, la *personalización just in time*, el uso y aplicación de nanomateriales y la incursión en otras áreas que han sido relegadas (por ejemplo, cerámica para motores) plantean un espacio para promover innovaciones orientadas en la diversificación de los productos y procesos.

Bajo estos principios, Cerámica 4.0 representa la evolución tecnológica y digital del sector en los próximos años. Aprovechar los beneficios y ventajas de digitalizar los procesos industriales permitirá establecer principios de ventaja competitiva, conjugando la innovación con la diferenciación, manteniendo tradición y calidad, así como reducir los costos de fabricación, asegurando la competitividad de las empresas. De esta forma, por medio de algoritmos capaces de mejorar los procesos guiados por sistemas de control basados en software se mejorará la calidad de la automatización; gracias a la colaboración entre los dispositivos y elementos interconectados también será posible predecir el comportamiento de la línea de fabricación para obtener realmente los resultados deseados y, mediante la conexión entre los procesos productivos con las necesidades de los clientes será posible fabricarles productos personalizados y a su medida, con la capacidad de atenderlos en cualquier momento y en cualquier parte del mundo (Digit-S, 2019).

El sector cerámico está en el camino de seguir aprendiendo y mantener el ritmo de crecimiento de Industria 4.0, gracias a que una de sus principales fortalezas es la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D). Es por ello, que gracias a Cerámica 4.0, el nuevo objetivo de este sector es avanzar hacia procesos más eficientes y productivos,

mediante productos que no afecten el medio ambiente gracias a la evolución de las tecnologías digitales, estableciendo nuevas y ambiciosas metas para el futuro, siendo las más destacadas las siguientes (NexusIntegra, 2021):

- Reducir costos: agilizando la producción y recortando gastos innecesarios gracias a la interconectividad de dispositivos y diseño de nuevos modelos de aprendizaje.
- Reducir consumo de energía: lograr los mismos niveles de producción y los mismos resultados de calidad con un mínimo consumo de energía.
- Reducir tiempos de procesos: automatizando y optimizando las principales áreas de trabajo y producción, acelerando los procesos y reduciendo pausas y paros no deseados.
- Mejorar la calidad: procesos inteligentes permiten crear diseños y productos inteligentes, asegurando de forma permanente la calidad y predilección de los clientes.
- Reducir los residuos: ahorrar energía, aprovechar de forma eficiente los insumos y reaprovechar los materiales considerados como residuos o desperdicio impulsará al sector hacia una sustentabilidad integral.

Cerámica 4.0 apuesta por un proceso de digitalización que permita a las empresas conservar su competitividad aprovechando la disrupción en el mundo de las tecnologías digitales. Esta disrupción digital puede expandir el mercado con productos cada vez más innovadores y a menor costo. Tendencias como diseños inteligentes, recubrimientos cerámicos sustentables y con eficiencia energética ya son una realidad (NexusIntegra, 2021). Esto nos lleva a definir qué Cerámica 4.0 representa una nueva ideología con propuestas para un mayor desarrollo empresarial, propuestas que las empresas del nuevo siglo, -y no sólo las del sector cerámico, sino también las de otros giros-, deben considerar como complemento de tres ejes importantes: de la competitividad, aprovechando el incremento de las tecnologías digitales para una mayor eficiencia; de la innovación, ante la importancia de generar continuamente nuevos conceptos para sus clientes y, del desarrollo sustentable, como una contribución adicional que la sociedad actual reclama para bien de su entorno social, ambiental y personal.

Cerámica 4.0: Un nuevo enfoque de competitividad, innovación y desarrollo sustentable

Ser competitivo significa tener capacidad de respuesta a las continuas exigencias de la sociedad sin perder valor y calidad. Las nuevas generaciones de consumidores demandan cada vez más nuevos aspectos como originalidad, personalización y variedad de elección, entornos donde la innovación debe ser constante. Asimismo, la sociedad actual demuestra ya abiertamente su preocupación por las generaciones futuras, ante el hecho de que los recursos naturales del planeta se consumen con mayor rapidez en comparación con el tiempo que tardan en renovarse (Sothis, 2021).

Hablar de competitividad implica que las empresas deben preocuparse por implementar acciones y estrategias que les permitan reducir costos reorganizando sus actividades para lograr una mayor eficiencia en sus procesos de fabricación. Por otro lado, también deben ocuparse por ser diferentes, ofreciendo a sus clientes un producto o servicio con un desempeño único o superior con respecto al de sus competidores (Porter, 2015).

Con respecto a innovación, el Manual Oslo (2018) establece su clasificación como innovación de productos e innovación de procesos de negocios, reconociéndola como un aspecto determinante que puede potenciar las fortalezas de cada organización. Carro et al., (2017) mencionan que la innovación se puede promover y desarrollar aprovechando el entorno de cada empresa, es decir, desde el exterior por medio de factores dinámicos, donde la tecnología, el conocimiento y el negocio-mercado son los responsables de su desarrollo, y desde el interior por los denominados factores de transferencia, siendo el factor humano, la estructura y cultura organizacional sus componentes principales.

Finalmente, desde el punto de vista de desarrollo sustentable, éste debe ser orientado a cuatro dimensiones principales: la ambiental, promoviendo la fabricación de productos y procesos que no afecten medio ambiente, mediante la prevención de la contaminación y la gestión eficiente de recursos naturales; la social, en la búsqueda del bienestar social de las personas y de su ambiente personal; económica, promoviendo las inversiones verdes, tanto en tecnología como en procesos; e institucional, fomentando una cultura sustentable que se practique como parte de la vida cotidiana laboral y personal (Carro et al., 2017).

Bajo este esquema empresarial (competitividad, innovación y sustentabilidad), Cerámica 4.0 construye nuevas oportunidades de desarrollo que empresas alrededor del mundo han empezado a adoptar bajo los siguientes enfoques:

- Implementación de la robótica y equipos autónomos.

Modernizar áreas específicas de una planta de producción mediante la introducción de procesos automatizados y robótica mejora la flexibilidad y eficiencia terminal. Operaciones como la manipulación y carga de productos por medio de personas se ha vuelto un proceso obsoleto, antieconómico y riesgoso para la salud de los trabajadores, por lo que la implementación de sistemas robóticos para automatizar estas actividades ha convertido a las líneas de producción en lugares más seguros y eficientes, logrando incluso una mejor gestión de carga para garantizar movimientos más precisos y confiables (Marcheluzzo, 2023). Un ejemplo muy claro es el trabajo de almacenamiento inteligente y autónomo por medio de dispositivos móviles dotados de sistemas digitales de localización en tiempo real, sensores industriales para la autoidentificación del producto y navegadores gráficos 3D que garantizan una trazabilidad total y sin errores de desplazamiento y control. Las versiones más recientes han aprovechado el crecimiento exponencial de las tecnologías digitales para mejorar las técnicas de geolocalización agregando nuevos y mejores componentes (GPS, cámaras, láser, Wifi), mejorando también la manipulación y trazabilidad de los productos (palets enteros, productos no paletizados, cajas), haciendo más eficiente las salidas de cada línea de producción hasta el almacenamiento, preparación de productos vendidos y finalmente, el envío al cliente (Intellimag, 2020).

- Eficiencia energética y ahorro de energía.

Actualmente, más de un tercio de la energía que consume el sector cerámico se deshecha o disipa en forma de calor. Aunado a esto, el alza en el costo de los combustibles fósiles, el cambio climático y la poca inversión en fuentes de energía limpia se vuelve muy relevantes económicamente (Eco-Tech, 2022). Por lo que la eficiencia energética, el reciclaje más eficiente de residuos y la reducción de emisiones de CO₂ se han convertido en las prioridades principales que las empresas y la sociedad deben

atender. Adoptar verdaderamente una economía circular se ha convertido en un tema fundamental bajo un nuevo principio: considerar la reutilización de equipos existentes pero marcados como obsoletos. La sustentabilidad económica de las inversiones requiere que la industria en general rescate en lo posible sus equipos existentes implementando tecnología que les permita actualizar la maquinaria que ya no se ajusta a las demandas del mercado e integrarlas nuevamente de forma fluida y sostenible a su entorno productivo, dando como resultados el ahorro tanto en gastos de operación como en inversiones iniciales (Marcheluzzo, 2023). Cerámica 4.0 hace referencia a que ya no es posible imaginar una actividad industrial que no considere a la sustentabilidad. Para ser competitivos, todo proceso de fabricación debe considerar el conservar los recursos energéticos, reciclar materias primas para reducir residuos y consumos no necesarios, y adoptar tecnologías limpias que no afecten el medio ambiente (System Ceramic, 2022). Dada esta situación, mejorar la eficiencia energética será determinante para que la maquinaria térmica (secadores y hornos) alcance mejores niveles de rendimiento durante su proceso como parte de una solución que permita ahorrar energía al recuperar el poder calorífico producido en el interior de estos equipos durante las etapas de secado y cocción. Esto es posible gracias al resultado del modelado virtual y simulación 3D del sistema de control individual de las energías involucradas mediante el control avanzado de volúmenes y temperaturas al interior de los canales de secado y cocción (ICF-Welko, 2017).

- Análisis y diseño mediante entornos virtuales

Las nuevas tecnologías digitales permiten el modelado de diseños que prácticamente cobran vida con tecnología 3D y entornos virtuales. La incorporación del modelado 3D permite perfeccionar nuevos modelos de recubrimiento cerámico para diseñar modelos virtuales, permitiendo simular su apariencia, su fabricación y su comportamiento mecánico. Esta tecnología ha empezado a aplicarse para perfeccionar el diseño de moldes, cabezales de extracción y moldes madre considerando los requisitos de producción especificados por cada cliente. Esto es posible gracias a software de diseño de alta precisión que utiliza técnicas matemáticas como el Método del Elemento Finito (MEF) para calcular y optimizar parámetros físicos, como lo es el reducir peso o aumentar

la resistencia mecánica (Franz-Banke, 2023). La aplicación de software que realice funciones de visión general hasta el control integrado de los flujos de producción mejorará la eficiencia de la fabricación, desarrollando un nuevo ecosistema que interconecta tecnología, personas y procesos mediante el diseño de configuraciones a la medida, optimizando costos económicos y medioambientales, definiendo lo que hoy es reconocido como una fábrica inteligente. Implementando funciones avanzadas de sistemas de ejecución manufacturera (MES, por sus siglas en inglés) se vinculan las tecnologías de la información y de tecnología operativa de la planta para ofrecer a los operadores un excelente control de acceso, lo que les permite monitorear mediante dispositivos fijos o móviles todos los datos principales de la planta mediante el cálculo de indicadores clave de rendimiento (KPI's, por sus siglas en inglés), permitiendo la identificación en tiempo real de las causas de cualquier problema que se presente en las línea de producción (Sacmi, 2020). Aplicando software de última generación, diversas empresas estudian y analizan mediante entornos virtuales los recorridos y flujos fluidodinámicos al interior de hornos, secadores e intercambiadores de calor, identificando zonas críticas, lo que permite mejorar el diseño interno de las máquinas, logrando un nivel de eficiencia energética muy alto (Poppi-Clementino, 2023). De esta forma se optimiza el comportamiento y funcionamiento de la maquinaria permitiendo realizar mejoras que se pueden aplicar secuencialmente, sin afectar la calidad de la producción (ICF-Welko, 2017). La aplicación de sofisticados software de gestión permiten hoy en día, un mejor procesamiento de datos de funcionamiento de la planta en tiempo real, la comparación de trabajo real con el óptimo, la programación de las intervenciones necesarias de mantenimiento, el historial de trabajo de la maquinaria y el estado de eficiencia de la planta (Puccini, 2017).

- Implementación de tecnologías digitales.

Nuevas innovaciones en el área de esmaltado han revolucionado aspectos tan simples como lo es el esmaltado, la decoración y los acabados. La decoración digital se ha potencializado gracias al desarrollo exponencial de la informática (Internet de las cosas, Big Data y la Nube). Hoy es posible realizar esmaltados muy detallados controlando el caudal de esmalte y sus métodos de aplicación. Además, las tecnologías digitales

mejoran la coordinación del proceso de impresión entre máquinas ubicadas en diferentes puntos de las líneas de producción. Gracias a sistemas coordinados de adquisición de datos, sensores, conectividad vía internet y sistemas de seguimiento en tiempo real mediante dispositivos de visión avanzada es posible detectar problemas en la línea (como el incorrecto posicionamiento de piezas) reduciendo en gran proporción los paros no deseados, el consumo de energía y el desperdicio de materia prima. Gracias a la interconexión entre máquinas, las impresoras digitales reciben instrucciones precisas y coordinan sus aplicaciones decorativas sincronizando operaciones, permitiendo al operador controlar todo tipo de combinaciones posibles en la línea de una forma sencilla y desde una única ubicación sin tener que ajustar cada unidad de forma individual (Genya, 2022). El uso integrado de aplicaciones de IoT para mantenimiento y otras operaciones da como resultado una mayor vida útil de los equipos, mayor productividad, optimización, competitividad, y creación y desarrollo de nuevos servicios avanzados. Por medio de Cerámica 4.0, las empresas ahora pueden ofrecer a sus clientes maquinaria cada vez más inteligente con la facilidad de interconectarse entre sí. Impulsados por el IoT es posible procesar paquetes de mantenimiento preventivo basados en sistemas de aprendizaje automático gracias a la recopilación de datos (Big Data) clave para plantas y maquinaria. Ésta es la principal característica que está impactando en tres grandes actores del sector industrial: cliente, servicios e ingeniería, ya que mediante el apoyo de algoritmos analíticos, estas nuevas tecnologías digitales permiten ofrecer programas de mantenimiento preventivo capaces de reducir los paros de línea no deseados y recortar costos de mantenimiento (Marino, 2017).

- Maquinaria y procesos más eficientes y sustentables.

En complemento a lo integrado por Cerámica 4.0, se han desarrollado nuevos procesos innovadores enfocados hacia una eficiencia y sustentabilidad integral. Nuevas innovaciones de control digital en el área de esmaltado han aprovechado la creación de tintas a base de agua para mejorar la productividad debido al ahorro de consumo de esmalte, lo que también permite reducir la huella ambiental al eliminar el proceso de pulverización. Mediante estos nuevos procesos se tiene el potencial de garantizar una mayor vida útil de la maquinaria con una menor necesidad de mantenimiento (System

Ceramics, 2022). En el área de las materias primas y la preparación de polvos se han implementado controladores extremadamente precisos para alcanzar un control óptimo del proceso y un comportamiento estable en las etapas posteriores. Los molinos continuos y de bolas ahora son máquinas automatizadas que destacan por la sencillez de operación, lo cual, permite al operador controlar fácilmente, todos los principales parámetros de la máquina y del producto. En la sección de secado por aspersión, el control digital de temperatura y tamaño de partícula permite una alta eficiencia terminal en la etapa de prensado. Los secadores y hornos son ahora máquinas más sencillas en su funcionamiento gracias al preciso control digital, resolviendo en gran medida problemas de antaño, como lo eran los problemas de tono, calibre y forma. Gracias a una completa integración digital, es posible monitorear, gestionar y controlar todas las líneas de producción como una sola unidad, desde el inicio del proceso hasta el control de producto terminado en el almacén (ICF-Welko, 2017). Finalmente, para la parte final de clasificación y empaquetado se han incorporado sistemas de visión para el control de calidad de grandes superficies cerámicas. Mediante dos cámaras digitales, una en blanco y negro y otra en color se visualizan las baldosas para permitir una inspección precisa de los defectos estructurales o decorativos. Estos nuevos sistemas de visión pueden examinar las texturas superficiales y sus decoraciones, y un dispositivo de posicionamiento micrométrico selecciona perfectamente el producto de acuerdo con el tamaño y el espesor. Este nuevo proceso de clasificación automática funciona sin la necesidad permanente de un operador, siendo un principio básico de Industria 4.0 y Cerámica 4.0 (System Ceramics, 2019).

Conclusiones

Desde su inicio, Industria 4.0 ha impactado en diversos sectores industriales gracias a la integración de tecnologías digitales que están en constante evolución, siendo Cerámica 4.0 un buen representante de esta nueva ideología industrial. Hablando de competitividad, Cerámica 4.0 ha demostrado a las empresas la importancia de lograr una mayor sensación de valor para el cliente al hacer más eficientes sus procesos y más amigables con el medio ambiente, presentando una diferencia perceptible (en comparación con otros sectores) para la sociedad y para los consumidores. Lo que sigue

pendiente es seguir trabajando en mejorar la eficiencia energética ya que el sector cerámico es uno de los sectores que más consumen recursos debido a la particularidad de sus procesos que requieren un gran consumo de gas y de agua.

Con respecto a innovación, desde hace décadas este sector se ha caracterizado por ser de los que más innovaban a nivel tecnológico. Hoy con Cerámica 4.0 se ha dado el paso para que el desarrollo de innovación ya no sea exclusivamente el uso de nueva tecnología. Ahora, la tecnología es el puente para pasar a otro tipo de innovaciones como lo es la innovación comercial, introduciendo nuevos métodos de diseño, el uso de espacios virtuales para diseñar nuevos productos con enfoque sustentable, así como la personalización de los mismos, innovaciones que pueden reducir en gran escala los costos de producción.

En el tema de desarrollo sustentable, Cerámica 4.0 ha promovido con su aportación que las empresas concentren sus esfuerzos en optimizar sus insumos, materia prima, reciclaje, recuperación de residuos, así como el reducir su consumo de agua y energía, por lo que el aprovechar las tecnologías digitales para diseñar procesos que reutilicen el calor desechado de la maquinaria térmica y reciclar el agua de las áreas de molienda y esmaltado es actualmente, la tendencia hacia el futuro próximo, considerando así, de forma inherente a la dimensión económica y ambiental de la sustentabilidad. Por otra parte, Cerámica 4.0 también ha venido a fortalecer dos aspectos importantes de la sustentabilidad social: mejorar la seguridad del personal mediante maquinaria autónoma que requiere poca intervención humana para su manejo y control, y en consecuencia, promover la necesidad de capacitar al personal sobre dichas tecnologías, lo que originará un mayor desarrollo personal y profesional de los trabajadores.

Finalmente, en la dimensión institucional de la sustentabilidad, Cerámica 4.0 representa a una naciente y renovada cultura organizacional, donde la misión, visión y valores institucionales ahora representan una nueva forma de vida laboral y personal que conviven abiertamente con el desarrollo tecnológico.

En el horizonte ya se visualizan los cambios tecnológicos que se vienen a futuro, y nuevas aplicaciones de tecnología que están tomando mayor relevancia (como lo es la Inteligencia Artificial). El sector cerámico ha definido un rumbo específico con Cerámica 4.0, lo que le garantiza una competitividad permanente en el tiempo, una continua

innovación y ante todo, una sustentabilidad más rentable y reconocida ante la sociedad del nuevo siglo.

Referencias

- Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos [ASCER]. (2018). *Líneas de innovación para el sector cerámico*. [https://www.observatoriomercado.es/wp-content/uploads/Líneas de innovacion para el sector ceramico.pdf](https://www.observatoriomercado.es/wp-content/uploads/Líneas_de_innovacion_para_el_sector_ceramico.pdf)
- Baraldi, L. (2021). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 31(153), 26-41.
- Baraldi, L. (2022). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 32(148), 36-51.
- Baraldi, L. (2023). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 33(153), 58-73.
- Carro, J., Reyes, B., Rosano, G. y Garnica, J. (2017). Modelo de desarrollo sustentable para la industria de recubrimientos cerámicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1). 131-139. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.12>
- Carro, J., Reyes, B., Garnica, J. y Rosano, G. (2017). Modelo del proceso de innovación mediante factores dinámicos y de transferencia. *Conciencia Tecnológica*, 1(53), 2-20.
- Carro, J. y Sarmiento, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24), 1-19. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727>
- Ceramic World Web [CWW]. (2021). *World production and consumption of ceramic tiles (2021)*. <https://ceramicworldweb.com/en/economics-and-markets/world-production-and-consumption-ceramic-tiles-2021>
- Ceramic World Web [CWW]. (2022). *World production and consumption of ceramic tiles (2022)*. <https://ceramicworldweb.com/en/economics-and-markets/world-production-and-consumption-ceramic-tiles-2022>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2020). *Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/96d52d67-9907-4af8-b115-b613046f0ffe/content>
- De Luna, T. (2021). *Covid favorece ventas de pisos y azulejos*. Milenio. <https://www.milenio.com/negocios/ceramica-confinamiento-impulsa-venta-pisos-azulejos>
- Digit-S. (2019). *Cerámica 4.0 Herramientas para la transformación digital del sector cerámico*. <https://digit-s.com/ceramica-4-0/>
- Eco-Tech, (2022). *Turning waste heat into clean energy*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/turning-waste-heat-clean-energy>
- Franz-Banke. (2023). *From the product to tailor-made technology*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/franz-banke-product-tailor-made-technology>
- Forbes México. (2021). *Industria de la cerámica prevé crecimiento de 4% en 2022*. <https://www.forbes.com.mx/industria-de-la-ceramica-preve-crecimiento-de-4-en-2022/>
- Genya. (2022). *A step forward for collaborative full-digital technology*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/genya-step-forward-collaborative-full-digital-technology>
- ICF-Welko. (2017). *The ceramic factory 4.0*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/ceramic-factory-40-icf-welko>
- Intellimag. (2020). *The semi-automatic system for the management of ceramic warehouses and picking*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/intellimag-pro-tile40-semi-automatic-system-management-ceramic-warehouses-and-picking>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Khan, S. y Suman, R. (2021). Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, 2(04), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100027>

- Marcheluzzo. (2023). *Marcheluzzo upgrades Fornace Vizzolese's production line*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/marcheluzzo-upgrades-fornace-vizzoleses-production-line>
- Marino, L. (2017). *The Service 4.0 plan by SITI B&T*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/service-40-plan-siti-bt>
- Mordor Intelligence. (2023). *Tamaño del mercado de baldosas cerámicas en México y análisis de participación: tendencias y pronósticos de crecimiento (2023-2028)*.
<https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/mexico-ceramic-tiles-market>
- NexusIntegra. (2021). *La transformación digital en la industria cerámica*.
<https://nexusintegra.io/es/transformacion-digital-industria-ceramica/>
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B. y Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 1(1), 38-41.
<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005>
- Poppi-Clementino. (2023). *New heat recovery solutions*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/new-heat-recovery-solutions>
- Porter, M. E. (2015). *Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. México: Grupo Editorial Patria.
- Puccini, S. (2017). *LB-Plus, integrated systems and services for an efficient factory*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/lb-plus-integrated-systems-and-services-efficient-factory>
- Sacmi. (2020). *Sacmi HERE: A modular, scalable approach to digitalization*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/sacmi-here-modular-scalable-approach-digitalization>
- Sothis. (2021). *Cerámica 4.0: la transformación de la industria cerámica*.
<https://www.sothis.tech/ceramica-40-la-transformacion-de-la-industria-ceramica/>
- System Ceramics. (2019). *Advanced technologies for tile sorting and packaging*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/advanced-technologies-tile-sorting-and-packaging>

System Ceramics. (2022). *Sustainability takes center stage*.
<https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/system-ceramics-tecnica-22-sustainability-takes-centre-stage>

Veral, S. (2019). *Ventajas Industria 4.0: qué es y cómo puede ayudar a tu empresa*. Spanish Ceramic Technology. <https://spanishceramictechnology.com/ventajas-industria-4-0-que-es-y-como-puede-ayudar-a-tu-empresa/>

Parte II. Analítica descriptiva y estrategias para el crecimiento sostenible de las PYMES

Capítulo V. Plan estratégico para una empresa emergente de hospedaje

Edith Mendoza Ramírez^{*}
Jaime Garnica González^{**}
Erika Cruz Coria^{***}
Héctor Rivera Gómez^{****}

Resumen

El modelo de negocios que usa una empresa es de gran importancia para saber si la empresa es exitosa o no. Por ello, se realizó un estudio de una empresa emergente dedicada al hospedaje, la cual se encuentra localizada en el municipio de Acaxochitlán. Esto con la finalidad de identificar las diferentes áreas de oportunidad para la generación de estrategias que permita tener un crecimiento y desarrollo de la empresa. Haciendo uso de la metodología de nueve pasos: aplicación del instrumento de evaluación, análisis de las respuestas que se obtuvieron del instrumento de evaluación, realizando una comparación entre la parte ideal y la parte real. Que finalmente hacer una interpretación de los resultados lo que llevó a realizar la generación de 33 estrategias, con sus objetivos y programas, con el propósito de encontrar las áreas de oportunidad, a las cuales se les dará un tratamiento de solución para mejorar el panorama a corto, mediano y largo plazo, beneficiando con esto a las mismas empresas.

Palabras clave: *modelos de negocios, turismo sostenible, empresa emergente*

^{*} Doctora de Ingeniería. Profesor-Investigador, Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica de Pachuca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3675-4758>

^{**} Doctor de Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Profesor Investigador, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-5144>

^{***} Doctora en Turismo. Profesora-Investigadora, Unidad Regional Mazatlán de la Universidad Autónoma del Occidente, Mazatlán. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7984-0064>

^{****} Doctor en Ingeniería. Profesor-Investigador, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2903-2909>

Introducción

El éxito de una empresa se le atribuye al éxito que tiene el modelo de negocios implementado, teniendo en cuenta el objetivo estratégico el cual fue definido desde un inicio a través de un modelo que fue desarrollado, (Amit y Zott, 2001; Chesbrough y Rosenbloom, 2002). El modelo de negocio con el paso del tiempo ha tenido diferentes interpretaciones, sin embargo, se puede visualizar que el principal objetivo de los modelos de negocio es el de pensar en la proposición de valor que la empresa proporciona al cliente a través de sus productos y servicios, la forma de comercializarlos y los beneficios que se obtendrán con dicha comercialización (Castro, 2010).

Por lo que, en caso de que las empresas tengan algún problema se deben realizar diferentes estrategias con la finalidad de obtener mejores resultados en los procesos, cumpliendo con los objetivos que fueron planeados desde un inicio. Concientizando la necesidad de realizar una evaluación del modelo de negocios de la empresa, modificando el modelo de negocios o en su defecto rediseñándolo.

Es por lo que, muchos autores se han dedicado a estudiar los modelos de negocio desde diferentes perspectivas por ejemplo, Osterwalder, Pigneur y Tucci, (2004), Magreta (2002), Zott y Amit (2009), Afuah y Tucci (2004) y Chesbrough y Rosenbloom (2002), (2006) y (2008), definen que los modelos de negocios son todas aquellas actividades que una empresa desarrollo, con la finalidad de satisfacer a los clientes en un tiempo determinado, es decir que la satisfacción del cliente es primero.

Por otra parte, hay autores como Bygrave y Zacharakis (2008), quienes mencionan que un modelo de negocios, debe estar compuesto de ocho elementos con la finalidad de generar valor, y sus componentes son: los valores, los recursos, estructura organizacional, costo, la producción, los procesos de negocio, las operaciones y por último las estrategias, o Peter Skarzynski y Rowan Gibson (2008), quienes crean un modelo de negocios llamado, Innovation to the Core, el cual está compuesto de cinco elementos que son: ¿Quién será servido?, ¿Qué proveeremos?, ¿Cómo lo proveeremos?, ¿Cómo se hará dinero? Y ¿Cómo diferenciar y sostener una venta?, con el objetivo de tener un alcance del producto en el mercado y sus bases de diferenciación. Describiendo y sintetizando el conjunto de aspectos que están relacionados al negocio,

se crea un ¹ valor a una empresa la cual está dirigida a un público en específico y a un sector en particular.

Siendo el modelo de negocios un conjunto de muchas rutinas independientes que se interrelacionan entre sí, esto con la finalidad de efectuar una acción. Hablando desde otra perspectiva un modelo de negocios se define como la estructura que conforma la base de la rentabilidad de las organizaciones, adaptándose ¹ al entorno en el que trabajan. Es por ello, que cuando una empresa decide modificar el modelo de negocio actual o decide ¹ crear un modelo nuevo es con la intención de generar competitividad en la misma (Clark, Osterwalder y Pigneur, 2012).

Sin embargo, cuando las empresas no son competitivas o pierden competitividad en el mercado deciden hacer un cambio en su modelo de negocios ofreciendo productos o servicios diferentes o novedosos. Para lo cual, hacen uso de una forma de organización colectiva empresarial, que tiene como finalidad el aprovechamiento de los diferentes recursos con los que cuentan, buscando desarrollar diferentes actividades para mitigar la pobreza, la marginación, la exclusión, etc., teniendo como objetivo principal la incorporación de una visión empresarial a través de políticas gubernamentales y políticas públicas o mediante diversas estrategias y proyectos turísticos.

Se denomina turismo al conjunto de actividades comerciales que directa o indirectamente producen bienes y servicios. Se trata de una actividad que implica, entre otras cosas, comercio, disfrute, ocio y fines profesionales (Alonso y Mújica, 1998). Las dos categorías de turismo son el turismo alternativo y el turismo de masas. El turismo masivo se refiere a los viajes que concentran a un gran número de visitantes en un solo lugar, mientras que el turismo alternativo busca involucrarse con la cultura y el entorno local para comprender, apreciar y ayudar a preservar los recursos naturales y culturales (Inostroza, 2008; Hiernaux, Cordero y Van Duynen 2002; Ledhesma 2018; Secretaría de Turismo, 2018; Serrano, Pérez, Manjarrez y González 2010).

Según Zamorano (2002), el turismo de masas puede ser visto como un modelo de civilización industrial a gran escala, masificado en términos de demanda y concentrado en términos de oferta. Su alta estacionalidad, la concentración de la riqueza en empresas transnacionales y su alta concentración espacial son algunos de los problemas y temas

de debate. Se pretende reducirlos desarrollando productos innovadores que atraigan a los turistas durante todo el año y no sólo durante una temporada (Bringas y Ojeda, 2000). Desde 2002, la Organización Mundial del Turismo considera al turismo como una de las principales industrias de varias naciones, entre ellas México. Este mismo organismo realizó estudios que muestran al turismo como la quinta industria de exportación más grande del mundo. La misma organización definió al turismo en 2006 como las actividades que los individuos (turistas) realizan por placer, negocios u otros fines durante sus diferentes viajes y estancias en lugares diferentes a su entorno habitual, cuya duración continua es menor a un año. La investigación ha demostrado que el turismo desempeña un papel importante en la mitigación de la pobreza en los países en desarrollo. Su potencial económico es especialmente fuerte en lugares rurales y distantes, donde puede crear puestos de trabajo.

Por ende, el turismo sustentable según la OMT (1993) tiene como fin apoyar a las necesidades de los turistas actuales y las diferentes regiones receptoras, además de proteger y agregar las oportunidades del futuro. Siendo gran parte de los problemas de sustentabilidad en los destinos turísticos a nivel mundial se centra en el turismo de masas, señalándose algunos como las costas del mediterráneo, representando un problema en el ambiente y en la industria turística. Posteriormente la OMT (2005) define al turismo sustentable como “aquel turismo que pretende satisfacer las necesidades de los turistas, así como de los destinos que son protegidos, incrementando las oportunidades futuras.

Es por lo que, con este trabajo se busca que las empresas enfocadas al turismo tengan un crecimiento y competitividad, aprovechando al máximo los recursos con los que se cuenta. Es decir, que mediante la implementación de estrategias en el modelo de negocios la empresa busque su sostenibilidad, teniendo equilibrio social, económico y ambiental.

El crecimiento de la empresa en cuestión de turismo generará un crecimiento de la empresa y una competitividad no solo de la misma organización sino también de la región donde se encuentre localizada, ya que el turismo atrae gran derrama económica al país. Ya que, como bien se sabe el modelo de negocios brinda oportunidades de desarrollo para generar soluciones innovadoras en diferentes sectores de industrial, como es el caso el turismo y siendo más específico en el turismo sustentable. Muchas de las

empresas han estado buscando con mayor insistencia la generación de estrategias que les permita que la organización sea competitiva, y a su vez que tenga un crecimiento dentro de la industria de turismo.

Reconociendo la importancia que el individuo tiene en mejorar sus condiciones de vida, empleando determinadas técnicas, procedimientos o tecnologías, que provoquen la materialización en los procesos a través de su modelo. Por ello, surge la necesidad de realizar un análisis actual de la empresa "La casa del sol" dedicada al hospedaje. La cual es localizada en el municipio de Acaxochitlán Hidalgo.

Esta investigación tiene la finalidad de detectar las diferentes áreas de oportunidad de la empresa, encontrando los elementos necesarios que afectan al crecimiento y competitividad empresarial. Ya que, al realizar un rediseño de su modelo de negocios, de la empresa "La casa del sol" una empresa enfocada al turismo sustentable se buscará la conservación y protección de la naturaleza, así como la detección de los problemas sociales que afectan en el crecimiento y competitividad de la misma.

Métodos

Cuando las empresas emergentes tienen algún tipo de problema en el mercado, lo resuelven de acuerdo a su experiencia, de acuerdo a lo que se les ocurre, de acuerdo a una idea, por instinto o con base a lo que muchas otras empresas han hecho, quedando parcialmente el problema, o en su defecto no es la solución adecuada para ese problema, el cual va a desencadenar otros problemas posteriormente o simplemente se mantiene el problema generando un desgaste físico, económico y mental, lo que hace que la empresa se desgaste.

Por ello, es preciso definir la implementación de un modelo de negocios, el cual sea dinámico y evolutivo, el cual, de la pauta para hacerle frente a los problemas del mercado dinámico y cambiante (Carmona y Martínez, 2014; Bernués, 2015). Lo que dará una pauta a los ejecutivos de la empresa, llevándolos a definir la estrategia para la implementación de un modelo de negocios, ya sea del diseño o rediseño del mismo, con la finalidad de cumplir no solo con los objetivos planteados en esta investigación (Arano,

Cano y Oliver, 2012), sino también detectando áreas de oportunidad y mejorándolas con el propósito de generar competitividad y crecimiento en las empresas.

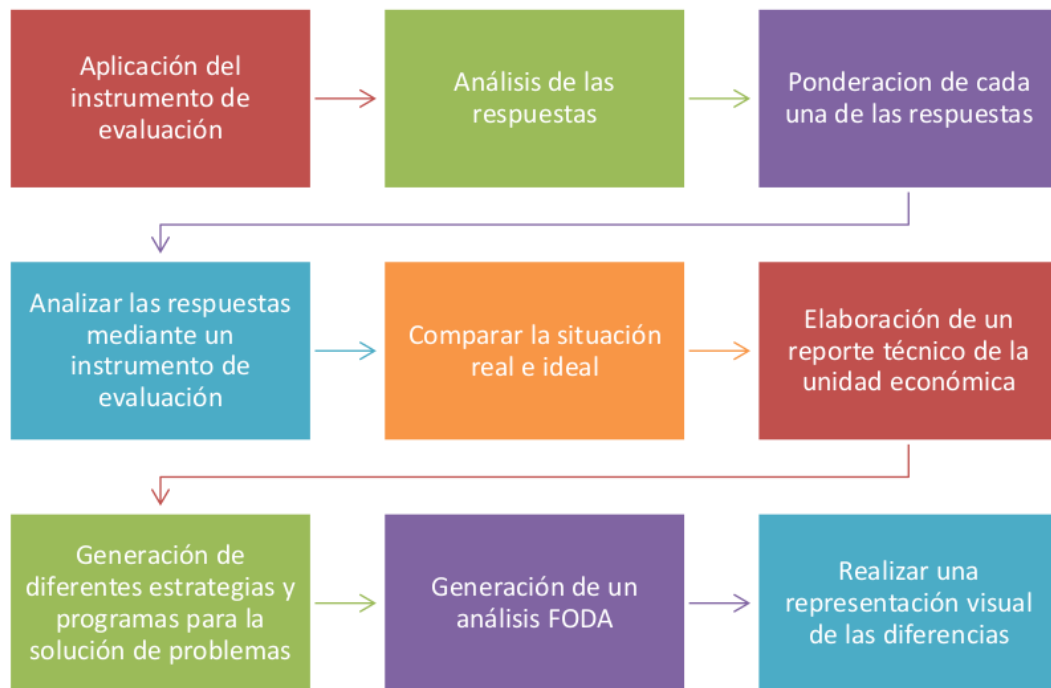
Las nacientes empresas acaxochitlecas de esta región se rigen actualmente por usos y costumbres, además de las condiciones desfavorables de su ubicación y tradiciones, que obstaculizan su crecimiento. Sin embargo, poseen abundantes recursos naturales que deberían ser explotados de manera más rentable, como se descubrió durante un análisis del estado actual de “La casa del sol”. Esto implica que las organizaciones dedicadas con el alojamiento no sean competitivas en el mercado y con frecuencia tengan que cerrar o cambiar de sector. Debido a que su potencial de desarrollo es algo limitado.

Por lo cual, en este trabajo de investigación se hizo la búsqueda de estrategias, así como de objetivos y programas con los que se obtendrán mejoras a un corto, mediano y largo plazo, cumpliendo con los objetivos plateados en esta investigación, teniendo como propósito que la empresa crezca, lo que generará un beneficio no solo para la organización, sino también para la región.

Para lo cual se hizo uso de la siguiente metodología con la finalidad de analizar la situación actual de la empresa, para posteriormente poder generar estrategias con objetivos claros y programas de acción.

Figura 1

Metodología empleada



Fuente: elaboración propia.

Con base a la Figura 1. Se puede observar que la metodología propuesta consiste en la aplicación de un instrumento de evaluación, el cual consta de 80 preguntas, las cuales abordan las once dimensiones que integran el modelo de negocios. Dicho instrumento tiene diferentes variables que conforman cada una de las dimensiones, los datos obtenidos fueron analizados y posteriormente se les otorgó una ponderación a las respuestas obtenidas con el propósito de realizar una gráfica que sea comparativa donde se puede visualizar el comportamiento de las diferentes variables en base a la situación real que tiene la empresa “La casa del sol” versus la situación ideal de cada una de las variables que tendría que tener la empresa conforme a las dimensiones que se propone en el modelo de negocios. Con esto se pudo visualizar las áreas de oportunidad donde se tiene que trabajar con mayor énfasis para poder mejorar a nivel de la empresa.

Posteriormente se realizó un análisis FODA donde se observaron las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la empresa “La casa del sol”, con el propósito de analizar las mejoras que se tendrían en cada una de las áreas de oportunidad que fueron analizadas anteriormente. Y finalmente se realizó un reporte técnico el cual fue

entregado a la unidad económica “La casa del sol”, dicho reporte tiene 33 estrategias las cuales tienen como objetivo generar una mejora de las diferentes áreas de oportunidad, dichas estrategias describen los objetivos de cada una de ellas y los planes que se llevaran a cabo. Teniendo como propósito el cruce de las estrategias con el análisis FODA que se realizó. Teniendo visible el impacto de cada una de estas estrategias y la competitividad que se obtendría al implementar las mismas.

Al aplicar dicha metodología se analizó de forma cualitativa u cuantitativa cada una de estas variables que integran el modelo de negocios, para posteriormente generar estrategias de crecimiento en la empresa. Mejorando con esto la actividad turística, administrativa y de los procesos.

Resultados

Los resultados que se obtuvieron mediante el análisis que se realizó fue que las diferentes áreas de oportunidad en el análisis de la empresa “La casa del sol” entre las que se encuentran la dimensión social y cultural, la innovación, la dimensión económica, dimensión ambiental, dimensión institucional y la organización, los cuales son una oportunidad de aprovechamiento para realizar un rediseño del modelo de negocios.

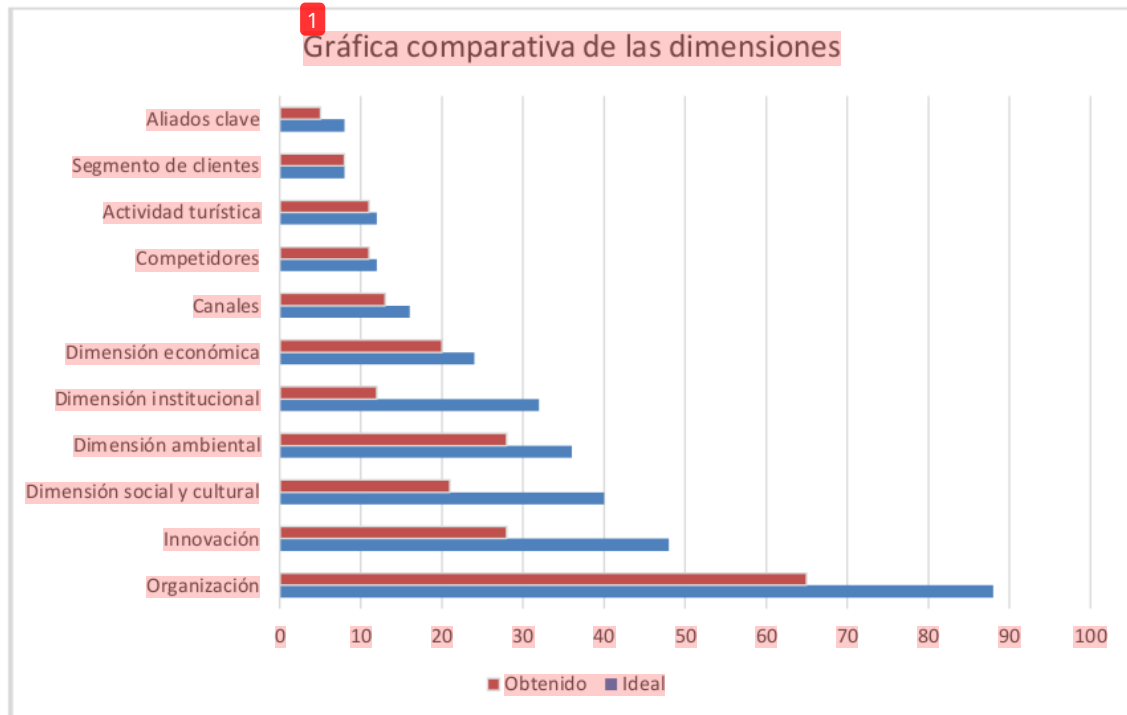
Que de acuerdo con el análisis que se realizó se obtuvieron diferentes resultados, de los cuales se observa que la organización y la innovación es donde existe mayor área de oportunidad, o, dicho de otra forma, son las áreas donde existe un porcentaje mayor de variación al realizar la comparación de la situación real versus la situación ideal. Siendo estas dimensiones donde se debe hacer mayor énfasis en aplicar estrategias de mejora. En decir, que esta empresa necesita realizar innovación en cuanto a sus procesos y los productos que están ofreciendo, así como la misma empresa, ya que, en cuanto a la organización se necesita hacer un cambio en los procesos y en cada una de las áreas necesita tener una mayor comunicación entre las mismas y tener bien definido y establecido cada uno de las diferentes funciones que se observan en la empresa.

Como se puede ver en la Figura 2, existen otras áreas dentro del modelo de negocios en las que también se necesita aplicar diferentes estrategias, así como objetivos de mejora y programas en un corto, mediano y largo plazo, teniendo como resultado no solo una

mejora en un área en específico, sino que con la mejora que podrá ver el cambio en todas las áreas.

Figura 2

Gráfica comparativa de la situación ideal y la situación real



Fuente: elaboración propia.

Una de esas áreas es la dimensión institucional y la dimensión social y cultural donde se debe aplicar estrategias en el rediseño del modelo de negocios. Acorde a eso, y después del análisis se realizó se generaron 33 estrategias con los objetivos de cada una estas estrategias, además de los programas de implementación (Ver Tabla 1). Es importante mencionar que dichas estrategias fueron obtenidas después de analizar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas con las que cuenta actualmente la empresa, eso con la finalidad de buscar que la empresa tuviera un crecimiento.

En la siguiente Tabla se muestran algunas de las estrategias que fueron planteadas para esta empresa de hospedaje “La casa del Sol” después del análisis que se realizó y detectando las áreas de oportunidad enfocadas a cada una de las áreas que fueron determinadas en dicho análisis, generando algunas de las estrategias que fueron planteadas.

Sin embargo, cada una es las 33 estrategias que fueron planteadas además de ser enfocadas a las áreas de oportunidad que fueron detectadas mediante el análisis, que integran dichas áreas. El modelo de negocios está compuesto por once dimensiones, y estas tienen subdimensiones y variables que integran a cada elemento, por lo tanto, las estrategias están enfocadas a dar respuesta a cada una de las variables que integran las dimensiones y subdimensiones, es decir que afectarán a todas las variables que integran el modelo de negocios, así como las relaciones e interrelaciones que tienen dichas variables.

Estas variables se encuentran consideradas en cada una de las dimensiones, las cuales son un punto importante a fin de determinar algunas acciones que se pueden mejorar con la finalidad de tener mejores resultados, dichas acciones o estrategias de mejora afectaran a otras áreas de oportunidad, lo que da como resultado un cambio a nivel de organización.

Tabla 1

Tabla de estrategias para “La casa del sol”

<i>Estrategias</i>	<i>Objetivos estratégicos</i>	<i>Programas</i>
Tener un modelo de negocios sostenible.	<p>1 Crear un modelo de negocios con la finalidad de tener claro la manera de operar la organización dando una solución a las necesidades del mercado actual.</p>	<p>1 Generación de un modelo de negocios contemplando todas las áreas que conforman una empresa, como la cuestión ambiental, la parte económica, la parte social y cultural, el segmento de clientes, los canales de distribución, los aliados clave, la parte institucional, la innovación y la organización en general con la finalidad de que sea una empresa sostenible.</p>

Mejora continua de los procesos.	Conocer a fondo el funcionamiento de las tareas para comprender las fases en las que se completan las operaciones.	1 Hacer un análisis de los procesos que se realizan en la empresa, teniendo siempre una retroalimentación del control para cada uno de los procesos.
Mejora continua de la parte administrativa y productiva.	1 Generar un plan de acciones enfocadas en la capacitación de la parte productiva, teniendo un desarrollo de recurso humano para aumentar la productividad y la óptima utilización de estos recursos. Teniendo un equilibrio entre la parte productiva y los recursos utilizados.	1 Diseñar e implementar programas, cursos y talleres de capacitación que formen y mejoren el desarrollo del recurso humano, obteniendo productividad y el buen aprovechamiento de estos recursos.
Comercialización	1 Generar estrategias y realizar acciones mediante el uso del marketing del servicio, con la finalidad de generar una buena competitividad dentro de nuestro segmento de mercado.	1 Realizar investigaciones de mercado y de servicio que arrojen los datos necesarios para diseñar las campañas publicitarias que la empresa necesitará para captar y mantener al turista cautivo y satisfecho.
	Reconocer los gustos del turista, mediante un instrumento de investigación de mercado, que permita conocer sus intereses y necesidades.	Obtención de información del turista actual mediante un acercamiento.

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 1, algunas de las estrategias fueron propuestas para su aplicación en la empresa “La casa del Sol” después del análisis que se realizó y el rediseño del modelo de negocios que se llevó a cabo, siempre tomando en cuenta las necesidades de los turistas y su satisfacción.

Estas estrategias fueron comparadas y cruzadas con un FODA que se realizó, generando con esto un CAME, el cual tiene como propósito visualizar el impacto que tendrían dichas estrategias en las diferentes dimensiones que conforman el modelo de negocios. Como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

CAME de "La casa del sol"

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
O1	E16/ E19			E4/E19	E19	E10/E19	E17			
O2		E15				E10	E11/E15/E17 /E29	E11		
O3			E30							
O4						E8/E10/E13				
O5						E8/E10/E13				
O6		E9	E5	E7/E9	E7/E9/E28	E1/E8/E9/E10	E5/E9			
O7		E9/E21		E4/E7/E9/ E14	E7/E9/E14 /E28	E1/E8/E9/E10/ E13	E9		E21	
O8				E4		E8	E17			
O9		E9		E7	E7	E8/E9/E10/E13	E9			
O10		E9/E15/ E27		E9	E9	E9/E27	E9/E11/E15/ E22/E27/E29	E11		E2
O11		E27				E23/E27	E11/E12/E23 /E27	E11/E12		
O12		E15/E27				E23/E27	E11/E12/E23 /E27	E11/E12		
O13						E8/E10			E24	
O14				E4		E8/E10/E13				E2
O15				E7			E11/E12/E29 /E26	E11/E12	E26	
O16		E15/E27				E27	E11/E12/E15	E11/E12		
O17	E16	E9		E4	E9/E28	E9/E10	E9			E2
O18										E2
O19				E7	E28	E1/E13				E2
O20			E30	E4/E7	E28	E1/E8/E10/E13				

Continuación de la Tabla 2

F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20
		E10			E19	E17			E10
E11/E15		E10/E11				E17	E11/E15		E10
			E18						
E13		E10	E13		E13	E20	E13		E10
E13		E10	E13		E13		E13		E10
E5	E9	E10				E7/E9/E28	E9		E10
E13	E9	E10	E13			E7/E9/E20/E28	E9	E17	E10
						E17			
E13	E9	E10	E13		E13	E6/E7/E9/E20	E9/E13		E10

¹ E11/E15/E27	E9	E11	E2			E9	E2/E9/E11/E15		
E11/E12/E27		E11	E12/E18				E11/E15		
E11/E12/E15/E27			E12/E18				E11/E15		
		E10/E11				E6/E20			E10
¹ E13		E10	E2/E13		E13		E2/E13		E10
E11/E12		E11	E12/E18	E25		E7	E11		
E5/E11/E12/E15		E11	E12				E11/E15		
	E9	E10	E2			E6/E9/	E2/E9		E10
			E2				E2		
E13			E2/E13			E3/E7/E20/E28	E2		
E13		E10	E13		E13	E3/E6/E7/E20/	E13		E10

Fuente: elaboración propia.

En base a la Tabla 2, se puede ver cómo se van relacionando las estrategias con el FODA, en este caso es con las oportunidades para su mejor visualización y entendimiento de los dueños o representantes de la empresa. Cada una de las estrategias fueron elaboradas con la finalidad de mejorar e incrementar las áreas de oportunidad, las cuales fueron relacionadas y vinculadas conforma a un FODA que se realizó, visualizando las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y amenazas que tiene la empresa. Al hacer un análisis se pudo crear estrategias que tengan un impacto no solo en algunas áreas del FODA, sino dichas estrategias tienen impacto en varias áreas, las cuales están integradas en las diferentes dimensiones que integran el modelo de negocios que se utilizará para esta empresa, con la finalidad de tener un crecimiento de la misma organización.

Discusión y Conclusiones

Este tipo de empresas podrían tener un crecimiento considerable ya que cuentan con los conocimientos, las habilidades y los recursos necesarios para poder hacer crecer a la empresa. Sin embargo, por no tener un buen modelo de negocios que le dé una dirección de crecimiento y competitividad a la misma empresa, por ello, es que tienden a estacar su crecimiento y en su defecto, tiende a generarle un decremento a la misma organización.

De acuerdo al análisis que se realizó se puede observar que en esta empresa “La casa del sol”, así como en varias de las empresas que se localizan en la región de Acaxochitlan, se debe hacer un análisis de cómo se encuentra actualmente su modelo de negocios, con el propósito de mejorar las diferentes áreas de este modelo. Siendo áreas que necesitan un rediseño de su modelo de negocios.

Se pudo observar que existen muchas áreas de mejora en la empresa “La casa del sol” dedicada al hospedaje en el municipio de Acaxochitlán Hidalgo, y no solo en las organizaciones que se dedican al hospedaje sino en las otras empresas. Y eso es a que muchas de las empresas que se localizan en esta región son empresas de índole familiar, donde se organización entre familia con la finalidad de poner una empresa de forma empírica, no tienen las habilidades necesarias para realizar la implementación de una empresa de manera formal con todos los requerimientos que se necesitan, es por ello que como sus bases no están bien cimentadas, y no tienen control de cada uno de sus procesos, cuando se les presenta alguna dificultad la resuelven con forma a su experiencia, generando con esto un tiempo considerable de solución, lo que las lleva en la mayoría de las veces a no poder solucionar la dificultad por completo, generando con esto el cambio de giro en cuento a su actividad turística o en su defecto a cerrar la organización por no tener las herramientas necesarias para resolver problemas.

En este trabajo de investigación se encontraron diferentes áreas de mejora en los modelos de negocio, entre las que encontramos la innovación, la organización, la dimensión ambiental, dimensión institucional, dimensión social y cultural, siendo áreas donde se puede tener un mejoramiento. Además, se desarrollaron 33 estrategias las cuales tienen como objetivo de que la empresa tenga un crecimiento de competitividad en la región, donde no solo beneficiaría a los integrantes de la misma empresa, sino también a la región donde se encuentra dicha empresa. Dichas estrategias fueron creadas con base al mejoramiento de las áreas de oportunidad que se obtuvieron mediante el análisis que se realizó.

Dichas estrategias fueron creadas también mediante los objetivos y los programas que se pueden realizar con la finalidad de generar competitividad y crecimiento en la empresa. Cabe destacar que, se debe poner mayor atención en la forma en cómo se conduce la organización, así como las capacitaciones que se presentan, las certificaciones, además

del desarrollo de innovación en cuestiones administrativas. Lo que permitirá a su vez cumplir con los intereses de los clientes y los objetivos de la organización.

En base en estos resultados es importante este tipo de empresas cuenten con las herramientas necesarias que les de la solución para poder enfrentar las situaciones que se les presente, utilizando de la mejor manera cada uno de los diferentes recursos con los que cuentan.

Teniendo diferentes estrategias de solución además de que tengan un crecimiento y competitividad en el mercado, esto generará un crecimiento en la región de Acaxochitlán Hidalgo.

Referencias

- Amit R, y Zott C. (2001). Value Creation in E-Business. Value Creation in E-Business. Strategic Management Journal. 22. pp.493-520. DOI: 10.1002/smj.187.
- Afuah A. y Tucci CL. (2002). Internet Business Models and Strategies: Text and Cases., McGraw-Hill/Irwin. 2 ed.
- Arano R., Cano M. y Olivera D. (2012). La importancia del entorno general en las empresas. Ciencias Administrativas. Universidad Veracruzana. pp. 62-65.
- Alonso, J. A. (1989). Marginalidad urbana y clandestinidad laboral femenina, en Fuerza de Trabajo Femenina Urbana en México.
- Bringas L., y Ojeda L. (2000). El ecoturismo: ¿una nueva modalidad del turismo de masas? Economía, Sociedad y Territorio, 2(7). pp. 373-403. México
- Carmona y Martínez (2014). El modelo de negocios como base del éxito, empresarial: una revisión teórica. Facultad de Ciencias Económicas y empresariales. Universidad de Almería.
- Chesbrough y Rosenbloom (2002). The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. Industrial & Corporate Change. DOI:10.1093/icc/11.3.529
- Chesbrough (2008). "Ventaja Competitiva", revista Trendmanagement. 10 (5).
- Chesbrough (2006). Open Business Models: How to thrive in the new innovation landscape. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.

- Clark T., Osterwalder A. y Pigneur Y. (2012). Tu modelo de negocio. Deusto es un sello editorial de Centro Libros PAPP, S. L. U. Grupo Planeta. Barcelona (España). ISBN: 978-84-234-1274-7.
- Castro E. (2010). Las estrategias competitivas y su importancia en la buena gestión de las empresas. *Ciencias Económicas*. 28(1). pp. 247-276.
- Flores B., T. (2008) ¿Desarrollo sostenible o sustentable? Asociación Boliviana Prodefensa de la Naturaleza. Recuperado de <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiDiJSrQLPUAhXE2SYKHU9WBCMqFggrMAA&url=http%3A%2F%2Fsa3dc15bc92033257jimcontent.com%2Fdownload%2F.version%2F1305553971%2Fmodule%2F5154290770%2Fname%2Fdesarrollo%2520sostenible%2520o%2520sustentable>.
- García A., García M. y Días J. (2015). Empezar en economías emergentes, el entorno institucional y su desarrollo. *Innovar*, 25(57), 133-156. DOI: 10.15446/innovarv25n57.50357.
- Hiernaux D., Cordero A. y Van Duynen L. (2002). *Imaginarios Sociales y Turismo Sostenible*. Cuaderno de Ciencias Sociales 123. Sede Académica, Costa Rica. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales FLACSO.
- Inostroza G. (2008). Aportes para un modelo de gestión sostenible del turismo comunitario en la región Andina. "Desarrollo Competitivo del Turismo Rural en los Andes" Fundación CODESPA, Ecuador.
- Ledhesma M. (2018). *Tipos de turismo: nueva clasificación*. 1 ed, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. OMPT. Pp. 1-189.
- Magretta (2002). Why Business Model Matter. *Harvard Business Review*. pp.80: 86-92. DOI:10.1111/j.1540-6520.2007.00222.x
- Osterwalder A. Pigneur Y. y Tucci C. (2005). Clarifying Business Models: origins, Present, and Clarifying Business Models: origins, Present, and Future of the Concept. *Communications of the Association for Information Systems* 15: 751775.
- Osa (2016). Plan Municipal de desarrollo de Acaxochitlan. Hidalgo. file:///C:/Users/edith/Desktop/PRIMER%20SEMESTRE/Seminario%20de%20Tesis/sierra%20otomi%20tepehua/PMD_Acaxochitlan.pdf.

- OMT (1993). Documentos básicos de la OMT, Volumen I – Estatutos, reglamentos, acuerdos (e-unwto.org)
- OMT (2005). Documentos básicos de la OMT, Volumen I – Estatutos, reglamentos, acuerdos (e-unwto.org)
- Skarzynski P. y Gibson R. (2012). Translated by, Pilar Mascaró Sacristán. Publisher, CENGAGE Learning. 294 pp.
- Secretaria de turismo (2014)
- Serrano R., Pérez C., Manjarrez É. y González L. (2010). Turismo armónico como alternativa sustentable. Para una comunidad en el Estado de México. Estudios y perspectivas en turismo. 19(6). pp.970-993. Buenos Aires.
- Zacharakis y Bygrave (2004), The Portable MBA in Entrepreneurship, Wiley, New Jersey
- Zamorano F. (2002). Turismo alternativo servicios turísticos diferenciados. Trillas.
- Zott C. y Amit R. (2010). Business Model Design: An Activity System Perspective. Long Range Planning. 43. pp. 216-226. doi: 10.1016/j.lrp.2009.07.004

Capítulo VI. Aplicación de técnicas de manufactura esbelta para optimizar el ensamble de chasis de autobuses urbanos

Aseel Juárez Vite*
José Ramón Corona Armenta**
Óscar Montaña Arango***
Héctor Rivera Gómez****

Resumen

Se presenta un estudio para mejorar la productividad del proceso de construcción del chasis de autobuses urbanos, mediante la implementación de herramientas de Manufactura Esbelta, donde se utilizó el Value Stream Map con el objetivo de identificar y reducir el Tiempo de Valor No Agregado (TVNA) aplicando herramientas como 5s, Kaizen, Kanban, Balanceo de línea mediante el Método Jalar y celdas de manufactura, y como consecuencia, la modificación del Layout. Los resultados mostraron que el TVNA del proceso se redujo de 1451 minutos a 23 minutos y al ejecutar la implementación del estado futuro se obtuvo una reducción del tiempo de valor agregado (TVA) del proceso de fabricación de 161 minutos y la reducción de 3 trabajadores. En cuanto a productividad, se logró el ensamble de 1 unidad adicional, lo cual se traduce en un mayor flujo en la línea, métodos de trabajo diferentes, mayor continuidad, cumplimiento con las ordenes de trabajo y beneficios económicos para la organización.

Palabras clave: *chasis de autobuses, value stream map, manufactura esbelta, tiempo de valor no agregado*

* Maestro en ingeniería con especialidad en sistemas de calidad y productividad. (CARGO O NOMBRAMIENTO INSTITUCIONAL), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México ORCID: 0000-0002-8325-959X

** Doctor en Ingeniería con especialidad en Sistemas Industriales. Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: 0000-0001-7157-1634

*** Doctor en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Planeación. Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ORCID: 0000-0002-4093-2529

**** Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: 0000-0002-2903-2909

Introducción

Actualmente el mercado de la industria del transporte es altamente competitivo, por lo que las empresas deben hacer los esfuerzos necesarios para mejorar su eficiencia. La competitividad y la eficiencia son puntos clave que hacen que las empresas automotrices estén actualizando constantemente sus estrategias de operación, con la finalidad de ofertar productos de calidad, precios accesibles y cumpliendo tiempos de entrega. Por lo anterior, los esfuerzos de los directivos están enfocados cada vez más en reducir el desperdicio, siendo una de las alternativas el uso de la herramienta Value Stream Map (VSM), que permite identificar las actividades que no generan valor y reducir el TVNA (Tiempo de valor no agregado).

Una de las características distintivas de la industria de autobuses es su alto volumen de producción, especialmente cuando se dirige a clientes que operan flotas en varias rutas del país y que normalmente manejan grandes pedidos que implican elevadas ordenes de producción. Por lo anterior, es indispensable desarrollar estrategias que faciliten el cumplimiento de estas solicitudes, además de esta alta exigencia, la producción de autobuses suele tener diferentes configuraciones, plazos de entrega y especificaciones de calidad cada vez más estrictas; derivado del tipo de servicio que brinda la unidad en rutas urbanas, foráneas, escolares, turísticas y extranjeras, por lo que cada una de ellas tiene un diseño específico. Otra particularidad de esta industria es el tiempo de entrega, donde se acostumbra presentar diferentes modelos y tiempos de entrega cortos. Esto lo experimentan directamente los empleados que diseñan el cronograma de producción, quienes no pueden optar por grandes volúmenes de producción al ejecutar los programas antes mencionados. Como resultado de lo anterior, obtener volúmenes de producción por lotes en un menor tiempo lleva a la necesidad de formar una línea de producción y acortar los tiempos de entrega.

Es necesario buscar métodos y herramientas que permitan mejorar la producción y satisfacer las demandas exigidas. Una de las diversas posibilidades para realizarlo es a través de Lean Manufacturing (LM), debido a que su entorno se basa en el flujo de valor y su racionalización, y lo que se busca es acotar para disminuir los residuos con flujos de valor total, que permite una mejoría para el interesado. LM se desarrolló en 1973 por

Toyota (Womack y Jones, 2003), donde la esencia de su filosofía se entiende a través de 5 principios básicos: 1) en cada producto se debe saber su valor además de reconocer su flujo de valor, 2) de cada flujo de valor se deben quitar las mudas -desperdicios- que están de más, 3) el valor debe fluir por lo que la organización debe revisar todas las actividades para rehacerlas, 4) el usuario debe atraer a las actividades que se realizan, y 5) la perfección deber ser considerada como el ideal a perseguir.

El enfoque de la metodología LM es disminuir o quitar las actividades que no agregan valor, en la búsqueda de una mejor eficiencia y productividad, con lo que los clientes tienen mayores beneficios (So y Sun, 2010), es por ello la amplitud de herramientas con las que cuenta LM para el logro de tal fin. El Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta esencial, que permite a quienes implementan LM que la muda sea combatida de forma progresiva y sostenible (Womack y Jones, 2003). VSM es una herramienta visual basada en procesos, cuya intención es vislumbrar y observar los flujos de material e información de un proceso de flujo de valor, para identificar y eliminar a las mudas subyacentes (Nash y Poling, 2011) y da la pauta para la mejora de los procesos (Rother y Shook, 1999). La esencia de su enfoque se centra en comprender las actividades de información o del flujo de materiales dentro del flujo de valor que cuentan o adolecen de valor agregado. Ha demostrado ser eficaz para visualizar procesos que la organización ejecuta a diario pero que no aportan valor, además de incidir en la reducción de tiempo de entrega, así como del inventario dentro de la línea de producción. El concepto Lean tiene su origen y aplicación en la industria manufacturera; sin embargo, también se ha implementado en procesos relacionados con servicios.

Este estudio, se aplicó en una empresa de ensamble de autobuses, que utilizaba una estrategia de planeación de la producción con métodos empíricos, lo cual ocasionaba problemas en el balanceo de la línea, ocasionando que algunas estaciones produjeran más y en otras se crearan cuellos de botella, con una baja productividad en la producción requerida. Adicional a esta problemática, la falta de materiales en línea determinaba que sólo 3 unidades diarias se produjeran por turno, siendo la capacidad de 5 unidades, y lo solicitado de 4 unidades. Debido a ello, se consideró la realización de un proyecto de mejora a través de VSM determinando las herramientas LM a ocupar, de manera tal que permitiera **identificar las operaciones que no agregaban valor y que los métodos de**

manufactura fueran complementados, para poder cumplir con la producción demandada de autobuses.

Para abordar la investigación, se realizaron las siguientes actividades:

1. Revisión de la literatura, con la intención de contar con un panorama y contexto amplio del tema en estudio.
2. Aplicación de la metodología VSM en todas sus etapas, para identificar los procesos que no agregan valor y las herramientas LM necesarias.
1. Descripción y análisis de los resultados obtenidos.

Revisión de la literatura

La metodología VSM permite resaltar los procesos que no agregan valor en una organización, se han desarrollado investigaciones donde se reportan aplicaciones que destacan en: a) La utilización de LM en pequeñas y medianas empresas (PYMES) debido al rezago por su uso en el que se encuentran, esto a través de una propuesta de implementación de 4 etapas que incluyen 23 componentes básicos adaptados a las características de las PYMES, con la utilización del enfoque de ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) alineándolo con los métodos de trabajo de la empresa, que permite a las PYMES utilizar LM en su proceso de implementación de manera sistemática y mejorar el rendimiento de la organización (Jia and Puvanasvaran, 2020) y b) Emplear Lean como una visión del mundo del ensamble, determinado por los objetivos básicos del sistema de producción, donde el enfoque en los problemas de calidad es fundamental (Villacís and Burneo, 2020).

Para entender el VSM en cuanto a su funcionamiento en diversos sectores y los efectos que presenta, se tiene el caso presentado por Liu y Zhang (2023), quienes realizaron el análisis bibliométrico y de concurrencia de palabras clave para analizar la tendencia de publicación, los temas de investigación y los contenidos de VSM desde la integración de conceptos, los sectores de aplicación y la tecnología; los resultados de este estudio, se integran por medio de simulación, six sigma, big data, internet de las cosas y otras tecnologías que permiten ampliar la capacidad de análisis y diseño de VSM, lo que mejora su adaptabilidad a diversos escenarios. Vasconcelos, Damasceno y Dalvo (2020), investigaron la aplicabilidad de VSM en procesos de la cadena de producción del petróleo

y gas, concluyendo que es posible aplicar la herramienta, con algunas adaptaciones y consideraciones en su utilización. También el VSM se ha utilizado en diversos sectores manufactureros, uno de ellos el textil, donde Hussain and Figueiredo (2023) analizaron el tiempo de ciclo y entrega en la etapa preparatoria del proceso de fabricación de tejidos textiles, identificaron los medios para mejorar el desempeño basado en el tiempo y se midió su impacto; donde los factores responsables de la mejora están relacionados con el sistema de producción y con la estrategia de compras; la mejora se logró en términos de utilización de la capacidad disponible, equilibrando el flujo de trabajo en las etapas preparatorias, la visibilidad del proceso midiendo su capacidad y la flexibilidad para la función de planificación. Sangwa y Sangwan (2023), proponen un mapeo integrado del flujo de valor para una línea de ensamblaje compleja, con el fin de mejorar la eficiencia de fabricación de componentes automotrices, donde la alta dirección está preocupada por los desafíos de un mayor tiempo de ciclo y una menor productividad mediante caminatas Gemba (ir al lugar de los hechos) a lo largo de la línea de montaje. Jasti, Kota y Sangwan (2020) ilustran la importancia de VSM en la industria auxiliar del automóvil para mejorar la productividad y la calidad; se sigue un enfoque de estudio de caso para demostrar la importancia de VSM; los resultados muestran que el estado futuro resalta el impacto positivo en la relación del proceso, el tiempo takt, el nivel de inventario del proceso, así como en los tiempos total de entrega y de cuello de botella. En este sector de auto partes, Singh y Singh (2013) con la aplicación del VSM reportan que hubo reducciones del 69.41 % en el tiempo del ciclo, del 18.26 por ciento en el inventario de trabajo en proceso y del 24.56 por ciento en los tiempos de producción para el reemplazo del producto. Reda y Dvivedi (2022) documentan su enfoque en la mejora del rendimiento y la productividad en empresas con bajo nivel tecnológico para la fabricación de calzado; redujeron los tiempos de ciclo en un 56,3% y de entrega en un 69,7%, confirmando su aplicación en organizaciones para mejorar su desempeño y productividad. En el contexto del factor humano, Castillo (2021) estudio la percepción de los trabajadores ante la implementación de los cambios derivados del VSM, antes, durante y después de su realización, donde encontró fuertes respuestas emocionales de negación y resistencia debido a la incertidumbre y el estrés generado. Stadnicka y Ratnayake (2017), mencionan que la intervención de indicadores es vital para la implementación del VSM, desarrollaron

un enfoque de mapeo de flujo de valor hecho a la medida, se mezclaron un grupo de indicadores de desempeño, que permitían medir y gestionar el proceso de preparación de cotizaciones, para disminuir su tiempo de entrega. Ghosh y Lever (2020), desarrollaron un mapeo del flujo de valor aplicado al proceso artístico de L'Oreal; enfocado a reducir el tiempo de entrega, el error humano y el incumplimiento de los plazos, se identificó etapas que pueden simplificarse y automatizarse en el proceso de creación de obras de arte de L'Oreal, eliminando el 50% de las etapas del proceso de arte manual, que resulta en una reducción del tiempo de entrega de 10.5 días y una reducción del 28% en el proceso. A su vez, Ortiz et al. (2023) desarrolló e implementó un modelo de aplicación en una empresa de confección de prendas de exportación, demostró que VSM es la mejor alternativa para visualizar en un solo documento y de forma gráfica todo el espectro de la cadena de suministro; redujo tiempos que permitió mejorar su competitividad. Rathi et al. (2022) aplicaron el VSM en plantas de destilación de agua, mejorando los tiempos de procesamiento, al reducirlo de 171s a 143s y el de entrega reduciéndolo de 8,057s a 6,344s. Finalmente, en la industria aeroespacial, su enfoque se dirige a la mejora de la eficiencia general de las operaciones, principalmente en la reducción de los tiempos de ciclo, de entrega total y de espera, por medio de un nuevo diseño (Kundgol, Petkar y Gaitonde 2021); así como en la parte que corresponde al mantenimiento de aeronaves, se le utiliza los servicios de mantenimiento, donde se busca minimizar tiempos de entrega, además de incidir en los costos de estas operaciones (Stadnicka y Chandima 2017).

En las investigaciones consultadas se observa que la metodología de VSM es utilizada de forma amplia y concisa en problemas que requieren agilizar y mejorar los procesos en diferentes sectores industriales, teniendo en cuenta las perspectivas y modificaciones que impulsan los requerimientos internos y la demanda impulsada por el mercado, cuya competencia es fuerte, tanto local, regional e incluso a nivel mundial, donde se solicita una mejor calidad a precios más accesibles, así como una mayor reducción de tiempos en la entrega y producción de cada lote; por lo que surge la necesidad de localizar los procesos y actividades que no dan el valor agregado, para disminuirlos o eliminarlos, lo que permite mejorar la productividad.

Para el caso específico de la industria de ensamble de autobuses, la literatura cuenta con información limitada sobre casos de aplicación en la producción, planeación, mejora en la productividad o en la manufactura de productos de parte de los proveedores, por lo que este estudio aporta para esta área del conocimiento.

Metodología

La investigación se desarrolló en una empresa que ensambla autobuses urbanos, en el área concerniente al chasis, cuyo método de operación utilizado estaba basado en la experiencia, lo que ocasionaba múltiples problemas en el balanceo de la línea de producción y el inventario de llantas y motores, lo que provocaba una producción 3 unidades por turno, afectando el plan de producción. Debido a lo anterior, la empresa no cumplía con el requerimiento de producción solicitado de 4 unidades por turno, lo que promovió la realización de esta investigación, con el objetivo de mejorar la productividad a través de un método de trabajo más robusto.

Anteriormente, sólo se indicaba la cantidad de autobuses por realizar, dejando que el área de producción determinara de forma intuitiva la cantidad de recursos humanos y materiales a utilizar, llegando a un extremo de ocupar turnos completos de trabajo para entregar las unidades solicitadas. Esto fue lo que motivo la búsqueda de una alternativa que permitiera resolver el problema presentado, y, dadas las condiciones presentadas se propuso aplicar el VSM, que de acuerdo a Womack y Jones (1994) los pasos a seguir son los siguientes:

1. Familia de productos. Es un grupo de bienes que son elaborados mediante etapas similares durante su transformación y transitan a través de equipos comunes en los procesos realizados.
2. Elaboración del estado inicial. Aclara la situación que tiene la producción a través del graficado tanto de los flujos de materiales como del flujo de la información.
3. Elaboración del estado futuro. Se desarrolla la cadena de producción vinculando los procesos con uno o varios clientes, por medio de un flujo continuo o a través de sistema de flujo halado, donde cada proceso fabrica dentro de sus posibilidades los requerimientos solicitados.

4. Plan de trabajo y ejecución. Muestra las actividades y el tiempo para su realización, determinando la secuencia entre cada uno de los elementos, con metas cuantificables, puntos de control, fechas y personas que están a cargo de estas actividades.

Con base en el contexto de la problemática de la organización y la razón de ser del VSM, se implementó la metodología expuesta en el proceso de ensamble de chasis de una armadora de autobuses de tipo urbano, localizada en México. Esto permitió el análisis del flujo de la cadena de valor, así como conocer las mudas, para proceder a su minimización o eliminación, mejorando la eficiencia de la producción en cuanto a su operación.

Análisis y discusión de resultados

Familia de productos

Al interior de la empresa, el ensamble de cada chasis fabricado es similar, en este proceso tiene un fuerte impacto el uso que se le va a dar al autobús, lo que incide en las modificaciones específicas sobre al producto final, en el caso en estudio se tuvo la oportunidad de trabajar con un modelo que en esa oportunidad fue el más solicitado por el mercado. La idea esencial de este trabajo es impulsar las mejoras obtenidas a todas las unidades que sean fabricadas en esta línea de producción.

Elaboración del estado inicial

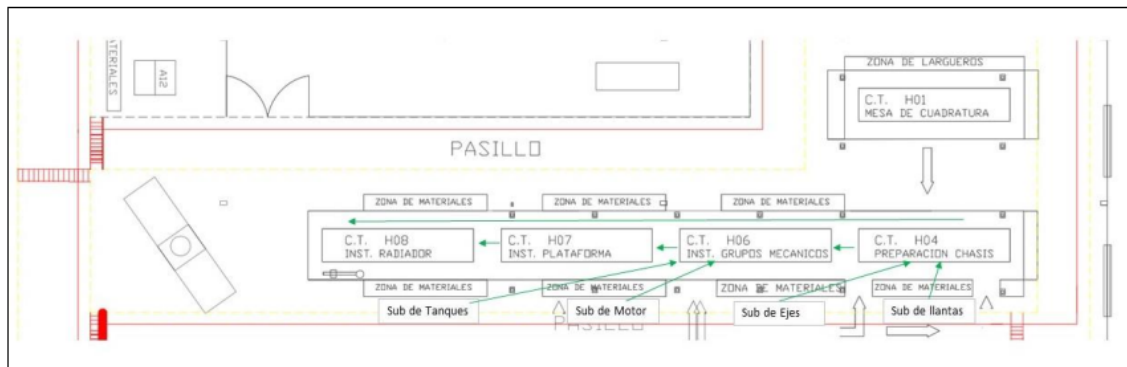
De acuerdo con los cánones establecidos, se conformaron 2 equipos de trabajo para la elaboración del estado inicial, la selección de los integrantes se determinó de acuerdo con los conocimientos en la parte técnica, donde cada grupo puede tomar las decisiones consideradas como necesarias, y con ello se permita la realización de las mejoras para llegar al objetivo establecido. Estos equipos se conformaron con ingenieros que manejan la línea de producción y con base en su área de conocimiento (calidad, producción, manufactura, materiales o control de producción). Adicionalmente, se tuvo el apoyo de un equipo de líderes de ensamble, quienes se encuentran en la línea, con la intención de evaluar las propuestas de mejora establecidas por los ingenieros, además de ser el canal

directo con los operadores, para apoyar en la comprensión e implementación de los cambios establecidos.

El objeto de estudio, que es la línea principal para el ensamble de chasis, está integrado por 8 procesos: 1. Cuadratura, 2. Soldadura de cargadores, 3. Ensamble de ejes y flecha cardan, 4. Pintura, mecanismos y llantas, 5. Ensamble de motor y sistema neumático, 6. Ensamble de escape, arnés, bastidor, y mecanismos independientes, 7. Subensamble y ensamble de radiador, tanque de combustible y ensamble de tanque de aereador y 8. Verificación del chasis, lubricación y engrasado. Adicional a estos procesos, están las áreas de subensambles de llantas, ejes, motor y tanques. Este proceso de ensamblado se realiza al mismo tiempo en la estación de trabajo y después se envía al proceso de ensamblado de la línea principal, y finalmente al área de carrocerías en donde se terminan de adicionar las partes faltantes.

5
Figura 1

Layout de la línea de ensambles



Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Figura 2

Forma tridimensional del chasis

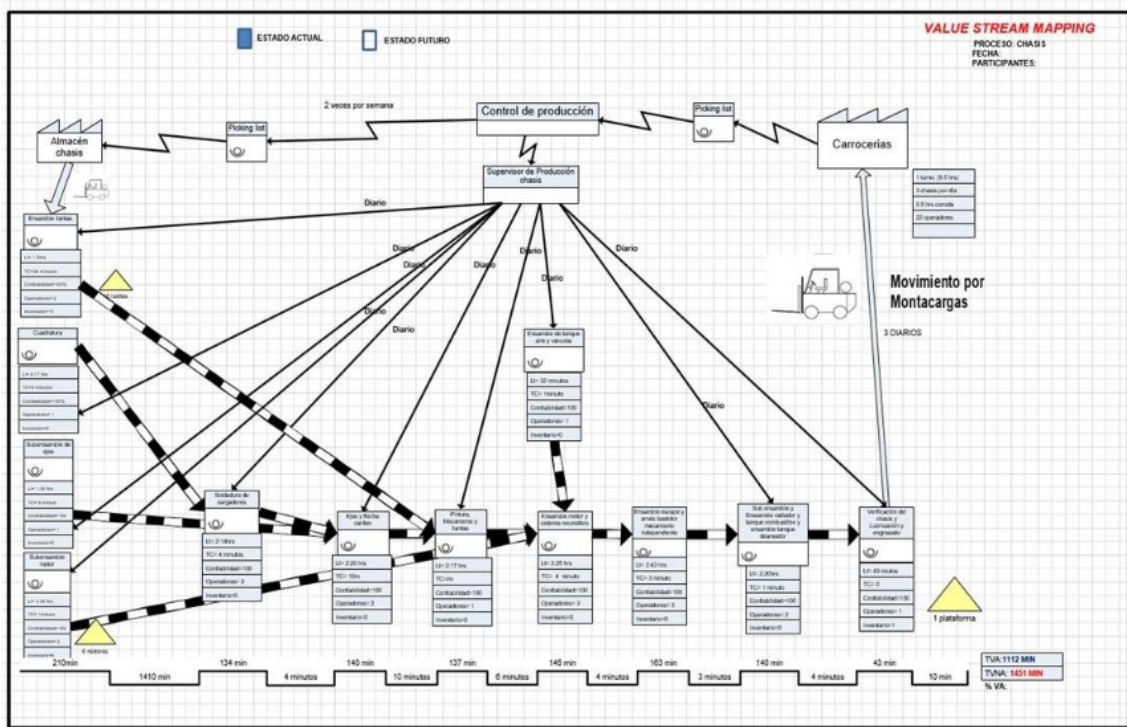


Fuente: chasis de un bus (Esmeraldas, 2016).

Una vez entendido el flujo de operaciones de la línea, los equipos se reunieron para realizar el trazo del mapa del estado actual, donde se realizó una lluvia de ideas e identificación de los desperdicios que se tienen actualmente. La intención de los dos equipos fue que no se generara una parcialidad al evaluar cómo se encuentra la línea y para este caso los que validaron fueron los del equipo de líderes de operación (ensamble), quienes conocen el día a día de los desperdicios con los que se está operando, el personal con el que cuenta, surtimiento de materiales, así como los flujos de tiempos y materiales que dan como resultado los tiempos de valor agregado y no agregado.

5
Figura 3

VSM estado actual



Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

De lo anterior, se desarrolló la tabla 1, que muestra la línea de tiempo del mapa, donde se pueden observar los tiempos del proceso para que una unidad recorra toda el área de un extremo al otro, identificando los tiempos de valor agregado (TVA) y los tiempos de valor no agregado (TVNA).

Tabla 1
Análisis de la línea de tiempo VSM estado actual

Actividades	TVA (MIN)	TVNA (MIN)
Sub-ensambles y cuadratura	210	-
Inventarios	-	1410
Soldadura de cargadores	134	4
Ensamble de ejes y flecha cardan	140	10
Pintura, mecanismos y llantas	137	6
Ensamble motor y sistema neumático	145	4
Ensamble de escape, arnés bastidor mecanismos independientes	163	3
Subensamble y ensamble de radiador, tanque de combustible y ensamble de tanque desaireador	140	4
Verificación del chasis y Lubricación y engrasado	43	10
TOTAL	1112	1451

Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

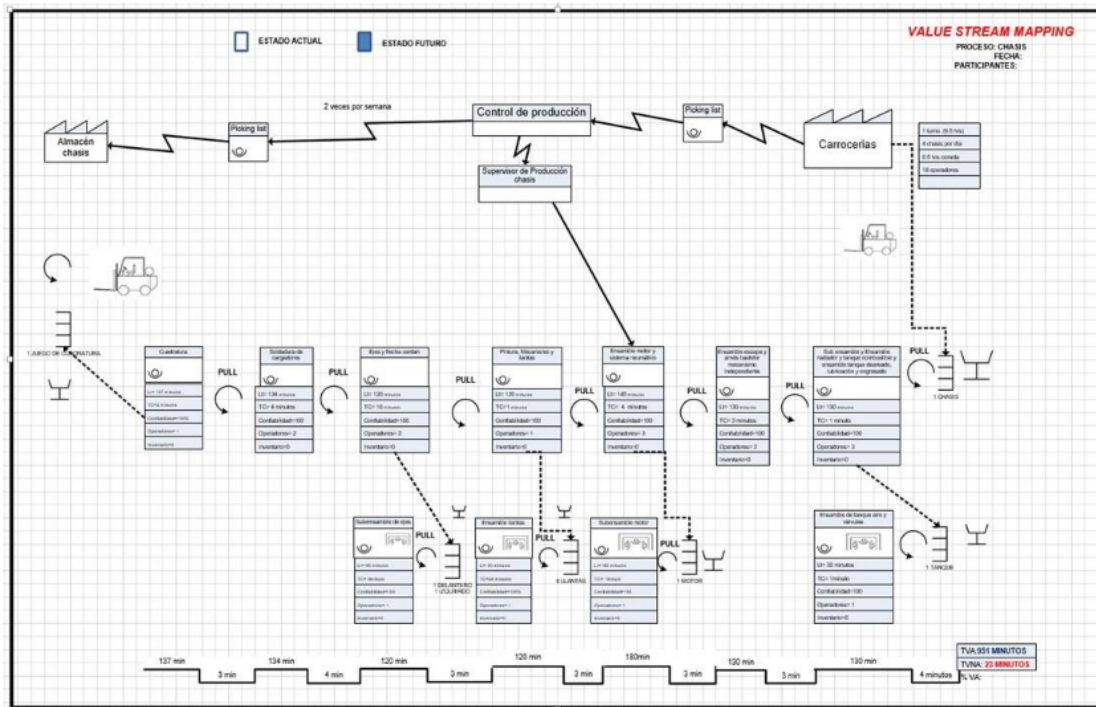
Elaboración del estado futuro

Una vez analizado el mapa del estado actual, que sirvió como diagnóstico para poder estudiar el TVNA, se identificaron las herramientas que pueden erradicar los desperdicios y poder alcanzar la meta establecida; además se identificó que existían inventarios en espera en proceso y en materiales suministrados.

Para la elaboración del mapa del estado futuro mostrado en la figura 4, se desarrolló un evento de acuerdo a la metodología Kaizen, con los dos equipos que participaron en el estado actual y se validó por el equipo de líderes de proceso.

Figura 4

5
VSM estado futuro



Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Las herramientas Lean específicas utilizadas para poder reducir los tiempos del TVNA fueron: 5's, Kanban, Kaizen, Celdas de manufactura y balanceo de línea mediante el método jala, con la finalidad de respaldar el estado futuro de la línea y lograr la meta de 4 unidades por turno.

La Tabla 2 muestra las actividades del nuevo proceso y la información de la línea de tiempo transcurrido, el cual se encuentra en la parte inferior del mapa de la figura 4, también se observan los tiempos de valor agregado (TVA) y los tiempos de valor no agregado (TVNA), teniendo una disminución importante en el proceso.

Tabla 2

Análisis de la línea de tiempo VSM estado futuro

Actividades	TVA (MIN)	TVNA (MIN)
Cuadratura	137	3
Soldadura de cargadores	134	4

Ensamble de ejes y flecha cardan	120	3
Pintura, mecanismos y llantas	120	3
Ensamble motor y sistema neumático	180	3
Ensamble escape, arnés bastidor mecanismos independientes	130	3
Subensamble radiador y tanque combustible, ensamble de tanque desaireador	130	4
5 TOTAL	951	23

Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Plan de trabajo y ejecución

Con la validación e identificación de las herramientas necesarias para poder implementar el mapa del estado futuro en la línea de carrocerías, se definieron los responsables y el tiempo en el que deberán estar implementadas. Para el seguimiento de las actividades, se acordó con los equipos que el personal de mejora continua convocara una vez por semana a reunión para apoyar a los responsables de la implantación de cada herramienta, así como su entrenamiento, con la finalidad de llegar en los tiempos establecidos para su culminación. Estas actividades se visualizan en el Gantt de la figura 5.

Figura 5

5
Plan de trabajo

ITEM	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	ÁREA	TIEMPO (DIAS)	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	5's (Orden y Limpieza)	MARCO AMBRIZ- JUAN	Manufactura -	60						
4	Implementación KANBAN	CARLOS OROZCO	Calidad	60						
5	Evento Kaizen	ANGÉLICA OLGUÍN- MIGUEL NAVA	Control de producción	60						
6	Balanceo de línea Metodo Jalar	PABLO SUAREZ-ASEL	Herramental	90						
7	Celdas de manufactura	JUÁREZ	Manufactura	90						
8	Layout	PABLO SUAREZ	Manufactura	60						

Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

La aplicación de VSM en la línea de chasis permitió observar que la estación de ensamble de motor y sistema neumático es más compleja, por el número de subensambles que llegan de las estaciones previas. Por lo anterior, esta estación es la que más recursos requiere para poder llegar a su objetivo, además de complementarla con la aplicación de las otras herramientas LM identificadas.

La implementación de VSM deja como contribución principal, la creación en los subensambles de celdas de manufactura, permitiendo el flujo continuo, como en la parte correspondiente a materiales, balanceo de línea, entre otros. Por otro lado, en la línea sólo se produce de acuerdo con lo solicitado en la demanda, esto bajo la égida del flujo de operaciones implantado, además de utilizar marcas en los subensambles que indican cuando se tiene que producir en las estaciones. Las modificaciones realizadas permitieron la disminución de tiempos de línea por estación, con reducciones del 14.48% en el TVA y el 98% en el TVNA. Esta información se puede cotejar de forma detallada en la Tabla 3, correspondiente al análisis de la línea de tiempo VSM en su estado actual y futuro, donde se muestra el antes y el después de la implementación.

Tabla 3

Análisis de la línea de tiempo VSM estado actual y futuro

Actividades	TVA VSM inicial (MIN)	TVA VSM futuro (MIN)	TVNA VSM inicial (MIN)	TVNA VSM futuro (MIN)
Cuadratura	210	137	0	3
Inventarios	0	0	1410	0
Soldadura de cargadores	134	134	4	4
Ensamble de ejes y flecha cardan	140	120	10	3
Pintura, mecanismos y llantas	137	120	6	3
Ensamble motor y sistema neumático	145	180	4	3
Ensamble de escape, arnés bastidor mecanismos independientes	163	130	3	3

Subensamble y ensamble de radiador, tanque de combustible y ensamble de tanque desaireador	140	130	4	4
Verificación del chasis y lubricación y engrasado	43	0	10	0
TOTAL	1112	951	1451	23

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

La Tabla 4 muestra los beneficios directos en línea de producción, tales como la disminución de personal, tiempo de proceso y el aumento de la productividad.

Tabla 4

Beneficios de implementación VSM

Actividades	Actual	Futuro	Beneficios
Personas	21	18	3
TVA (minutos)	1112	951	161
TVNA (minutos)	1410	23	1387
Productividad (unidades)	3	4	1

30

Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Finalmente, la Tabla 5 muestra el factor económico de los beneficios de implementar la herramienta de VSM en la línea de chasis en dos categorías, ahorros y lo que se deja de gastar con una proyección anual basada en el número de unidades a producir.

Tabla 5

Factor económico de implementación VSM

Ahorros	Cantidad	Horas Hombre	Costo mensual	Proyección anual
Operarios (costo operativo)	3	504	\$ 26,712	\$320,544
Operarios (costo planta)	3	504	\$159,768	\$1,917,216

Dejar de gastar (promedio de unidades anual de 1200)	Cantidad (minutos)	Mensual	Proyección anual
TVNA	1387	\$7,327.98	\$1,758,716
TVA	161	\$850.62	\$204,148

Fuente: elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Conclusiones

La problemática principal en la empresa consistía en un balanceo deficiente en las primeras estaciones de la línea, la deficiencia en el suministro de materiales en algunas estaciones y el exceso en otras causaban que la productividad disminuyera en forma considerable y con ello se impactaba de forma negativa al plan de producción, afectando con un atraso considerable las entregas.

Se considera que la aplicación de la metodología VSM fue exitosa, debido a que hubo una disminución del 14.48% del TVA y del 98% en el TVNA, lo que permitió una mayor productividad, la asimilación exitosa y de forma rápida por el personal de operación, además de fortalecer y robustecer los métodos de planeación.

El exceso de inventarios en el proceso de los productos fabricados era el causante de la problemática presentada, junto a la deficiencia en el balanceo de la línea de producción.

Referencias

- Castillo, C. (2021). The workers' perspective: emotional consequences during a lean manufacturing change based on VSM analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 33 No. 9, 2022 pp. 19-39. DOI 10.1108/JMTM-06-2021-0212
- Esmeraldas, C. (2016). Análise estrutural baseada em simulação pelo método dos elementos finitos de uma carroceria interprovincial submetida a teste de impacto lateral

- para determinar a geometria e os materiais aplicáveis que garantem a segurança dos passageiros, Equador: *Escola Politécnica do Exército*.
- Ghosh, S. and Lever, K. (2020). A lean proposal: development of value stream mapping for L'Oreal's artwork process. *Business Process Management Journal*, Vol. 26 No. 7, pp. 1925-1947. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-02-2020-0075>
- Hussain, D. and Figueiredo, M.C. (2023), Improving the time-based performance of the preparatory stage in textile manufacturing process with value stream mapping. *Business Process Management Journal*, Vol. 29 No. 3, pp. 801-837. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-08-2022-0366>
- Jasti, N. V. K., Kota, S. and Sangwan, K. S. (2020). An application of value stream mapping in auto-ancillary industry: a case study. *The TQM Journal*, Vol. 32 No. 1, pp. 162-182. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2018-0165>
- Jia Yuik, C. and Puvanasvaran, P. (2020). Development of Lean Manufacturing Implementation Framework in Machinery and Equipment SMEs. *International Journal of Industrial Engineering and Management*. Volume 11 / No 3 / September 2020 / 157 - 169. 2020. DOI: <http://doi.org/10.24867/IJEM-2020-3-26>
- Kundgol, S. Petkar, P. y Gaitonde, V.N. (2021). Implementation of value stream mapping (VSM) upgrading process and productivity in aerospace manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, Volume 46, Part 10, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.282>.
- Liu, C. and Zhang, Y. (2023). Advances and hotspots analysis of value stream mapping using bibliometrics. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 14 No. 1, pp. 190-208. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2021-0219>
- Nash, M. A. y Poling, S. R. (2011). Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes. *Productivity Press, CRC Press, Taylor y Francis*. 2011.
- Ortiz, J., Bancovich, A., Candia, T., Huayanay, L. y Salas, J. (2023). Método de aplicación de la herramienta Value Stream Mapping para aumentar la competitividad en una empresa textil y de confecciones. *Industrial Data*, 26(1), 33-61. <https://dx.doi.org/10.15381/idata.v26i1.22874>

- Rathi, R., Jagadeeswaran, M. Imran, G. M., Kumar, K. V., Eswar, K. y Sameerpasha, S. (2022). Investigation and implementation of VSM in water distillation plant. *Materials Today: Proceedings, Volume 50, Part 5*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.274>.
- Reda, H. and Dvivedi, A. (2022). Application of value stream mapping (VSM) in low-level technology organizations: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 71 No. 6, pp. 2393-2409*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2021-0118>
- Rother, M. and Shook, J. (1999). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. *Lean Enterprise Institute*.
- Sangwa, N.R. and Sangwan, K.S. (2023). Leanness assessment of a complex assembly line using integrated value stream mapping: a case study. *The TQM Journal, Vol. 35 No. 4, pp. 893-923*. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2021-0369>
- Singh, H. and Singh, A. (2013). Application of lean manufacturing using value stream mapping in an auto-parts manufacturing unit. *Journal of Advances in Management Research Vol. 10 No. 1, 2013 pp. 72-84*. DOI 10.1108/09727981311327776
- So, S., y Sun, H. (2010). Supplier Integration Strategy for Lean Manufacturing Adoption in Electronic-enabled Supply Chains. *Supply Chain Management: An International Journal 15 (6): 474–487*. 2010.
- Stadnicka, D. y Chandima R.M. (2017). Enhancing Aircraft Maintenance Services: A VSM Based Case Study. *Procedia Engineering, Volume 182*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.177>.
- Vasconcelos, C., Damasceno, R. and Dalvo, R. (2020). Evaluation of value stream mapping (VSM) applicability to the oil and gas chain processes. *International Journal of Lean Six Sigma, 11 (2), 309-330*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2018-0049>
- Villacís, S. y Burneo, P. (2020). UAVs' efficient assembly: Lean Manufacturing implementation in an UAVs' Assembly Company. *International Journal of Industrial Engineering and Management. Volume 11 / No 4 / December 2020 / 237 – 252*. DOI: <http://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-4-26>
- Womack, J. y Jones, D. (2003). Lean Thinking. Como utilizar el pensamiento lean para eliminar los desperdicios y crear valor en la empresa. 2a ed., *Ediciones Gestión 2000*.

Capítulo VII. Simulación de eventos discretos: mejora de la productividad en empresas de calzado mexicanas

Eva Selene Hernández Gress*
Rubén Calderón Andrade**

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo destacar ejemplos donde la simulación de eventos discretos ha demostrado ser beneficiosa en la mejora de indicadores relacionados con la producción. En la revisión del estado del arte, se exponen casos identificados desde 2015 hasta la fecha, analizando las áreas de oportunidad. Se presentan dos casos de estudio, detallando tanto su metodología, así como los resultados obtenidos en empresas mexicanas dedicadas a la fabricación de calzado. Finalmente, se aborda la discusión sobre la pertinencia de seguir aplicando la simulación y cómo esta podría contribuir a mejorar el funcionamiento de las empresas en la actualidad.

Palabras clave: *simulación de eventos discretos, empresas de calzado, productividad*

Introducción

La simulación de eventos discretos en el ámbito del calzado se refiere a la aplicación de la técnica para analizar y optimizar los procesos relacionados con la fabricación y la cadena de suministro de calzado. En este capítulo, se emplean eventos discretos para representar eventos críticos en la producción, como la elaboración y almacenamiento de calzado en el almacén de productos terminados, así como la llegada de materiales, el

* Doctora en Ciencias en Ingeniería Industrial. (CARGO O NOMBRAMIENTO INSTITUCIONAL), Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8720-5997>

** Licenciado en Ingeniería Industrial. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Gerente de producción en Industrias ISAR, México. ORCID:

inicio de la producción, el control de calidad, el empaque y el envío al almacén, entre otros.

La simulación de eventos discretos en la industria del calzado puede ser de gran valor para la optimización de los procesos de producción, ya que permite evaluar cómo diferentes configuraciones de líneas de producción, procesos de ensamblaje y sistemas de control de calidad afectan el rendimiento y la eficiencia en la fabricación de calzado. En resumen, esta técnica se presenta como una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y facilitar la toma de decisiones informadas en un sector altamente competitivo.

La capacidad de las empresas del sector para modelar y analizar sus operaciones en un entorno virtual antes de implementar cambios en el mundo real constituye un beneficio significativo. Esto no sólo contribuye a una mayor rentabilidad, sino también a una mayor satisfacción del cliente al permitir ajustes precisos y estratégicos en los procesos de fabricación y gestión de la cadena de suministro. En última instancia, la simulación de eventos discretos se erige como una herramienta estratégica que posibilita a las empresas del sector anticipar escenarios, optimizar sus recursos y enfrentar los desafíos de manera más efectiva en un entorno empresarial dinámico y competitivo.

El capítulo se estructura de la siguiente manera: Inicialmente, se examinan los desafíos que enfrentan las empresas y su interés en la aplicación de la simulación de eventos discretos (SED). A continuación, se detalla la SED y se revisa su desarrollo actual, incluyendo ejemplos de implementación tanto a nivel internacional como en México, con un enfoque particular en la industria del calzado. Se destacan las aplicaciones prácticas de los autores, enfatizando la metodología utilizada y los resultados obtenidos. El capítulo concluye con las reflexiones finales sobre el estudio realizado.

Motivación y problemas de las empresas

Las empresas eligen adoptar la simulación por diversas razones, como la necesidad de tomar decisiones fundamentadas (Greer, 2017), el interés en incorporar la simulación en las actividades diarias (Hughes, 2009) y los posibles beneficios en la toma de decisiones

en el ámbito manufacturero como probar ideas de producción o de Cadena de Suministro previo a la implementación (Hollocks, 1995).

No obstante, se presentan desafíos, entre ellos la aceptación por parte del personal, la disponibilidad de datos y las expectativas de la alta dirección (Centeno, 2001), otro de los desafíos es enfocarse más en el diseño que en la toma de decisiones operativa (Bapat y Pruitte, 1998). El éxito en la implementación de la simulación radica en la efectiva gestión de estos desafíos (Centeno, 2001). La eficacia de la simulación se debe a su capacidad para abordar la realidad, permitiendo la evaluación de soluciones propuestas en comparación con las operaciones actuales (Pritsker, 1989). Además, el creciente uso de la simulación en el ámbito empresarial se atribuye al desarrollo de software de fácil manejo (Greasley, 2017).

La simulación ha sido usada por mucho tiempo debido a la popularidad de la reingeniería de procesos, el desarrollo de softwares amigables al usuario y el soporte proporcionado por las empresas que ofrecen softwares de simulación (Greasley, 2017). Adicionalmente, su capacidad para administrar el cambio en un ambiente complejo (Bapat y Pruitte, 1998) ofrecen la posibilidad a las empresas de explorar diferentes escenarios, tomando en cuenta lo que otras metodologías no hacen, como la reducción de los costos (Ingallis, 1998).

Con la industria 4.0, la simulación tuvo aún más auge pues abarca un conjunto indispensable de herramientas y métodos tecnológicos para la implementación exitosa de la fabricación digital, ya que permite la experimentación y validación del diseño y configuración de productos, procesos y sistemas (Mourtzis, 2014). Especialmente en el entorno de fabricación actual, que se ve afectado por mega tendencias como la globalización y requisitos cada vez mayores de personalización y adaptación del producto, se hace evidente el valor de la simulación. La simulación de sistemas de fabricación se presenta como una herramienta poderosa para diseñar y evaluar sistemas de fabricación debido a su bajo costo, análisis rápido, bajo riesgo e información significativa (Mourtzis, 2020). El impulso hacia la digitalización de la fabricación en el contexto de la 4ta Revolución Industrial ha dado forma a la simulación en el diseño y la operación de sistemas de fabricación, dando lugar a nuevos enfoques en la literatura

especializada. Las tecnologías en las fábricas digitalizadas del futuro están ganando terreno en las aplicaciones industriales de la simulación, ofreciendo múltiples ventajas.

Por estas razones, cada vez más empresas incorporan a su práctica diaria el uso de la simulación, ya sea utilizando un servicio externo y/o desarrollando sus propios modelos, esto tiene que ver con los costos y las habilidades del personal al hacer simulación (Greer y Franklin, 2017).

Simulación de eventos discretos

La simulación de eventos discretos es una técnica de modelado diseñada para sistemas con cambios de estado discretos que tuvo sus inicios a finales de la década de 1950 y ha sido ampliamente empleada en diversas industrias desde entonces (Hollocks, 2006). Ha experimentado una evolución notable, incorporando avances recientes como el modelado visual interactivo, la optimización de simulaciones y la integración con otros programas (Robinson, 2005). A pesar de los desafíos enfrentados, especialmente en el ámbito de la manufactura global y la economía del conocimiento, sigue siendo una herramienta valiosa para respaldar la toma de decisiones (Ing et al., 2007). Existe una llamada a desarrollar una nueva generación de software para simulación de eventos discretos (Ing et al., 2007) que incorpore cada vez más restricciones, y se ha resaltado la aplicación de esta técnica en el modelado del rendimiento humano y los procesos de toma de decisiones en sistemas híbridos de manufactura y servicios (Babulak, 2008).

7 Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo (Coss, 2013). La simulación se define como una representación de los acontecimientos en un sistema real. Cuando se cuentan con datos precisos, es posible inferir cómo opera dicho sistema. Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados que persiguen un objetivo común, según lo señalado por Checkland (2000). En términos de clasificación, los sistemas pueden dividirse en determinísticos y estocásticos. Mientras que los primeros permanecen

constantes en el tiempo, los segundos están sujetos a la aleatoriedad. Además, existe la clasificación entre sistemas discretos y continuos; los primeros describen variables aleatorias con particiones definidas en el tiempo, mientras que los segundos se centran en variables aleatorias continuas o con un tiempo determinado en un intervalo.

La variable aleatoria, por su parte, se define como un número real que cuantifica una característica de interés en un experimento aleatorio. Se trata de una función en la que cada elemento del espacio muestral se corresponde con un valor específico de la variable. Para ilustrar este concepto, se presenta a continuación un cuadro que ejemplifica el significado de variable aleatoria.

Cuadro 1

Variable aleatoria

Experimento aleatorio:	Lanzar dos monedas
<p>Espacio muestral (S): Todos los resultados del experimento aleatorio</p> <p>Variable aleatoria (X): tiene 3 características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es un resultado de interés del experimento aleatorio. • Es un número real (\mathbb{R}). • Es una función donde a cada elemento (S) le corresponde uno de (X). <p>Para este caso, sea (X) el número de soles encontrados en el lanzamiento de las dos monedas.</p>	<p>$S = \{as, sa, ss, aa\}$</p> <p>$X = \{0,1,2\}$, Variable aleatoria discreta: Toma valores aislados.</p> <p>$X = (0,2)$, Variable aleatoria continua: Toma valores en el intervalo (0,2).</p>

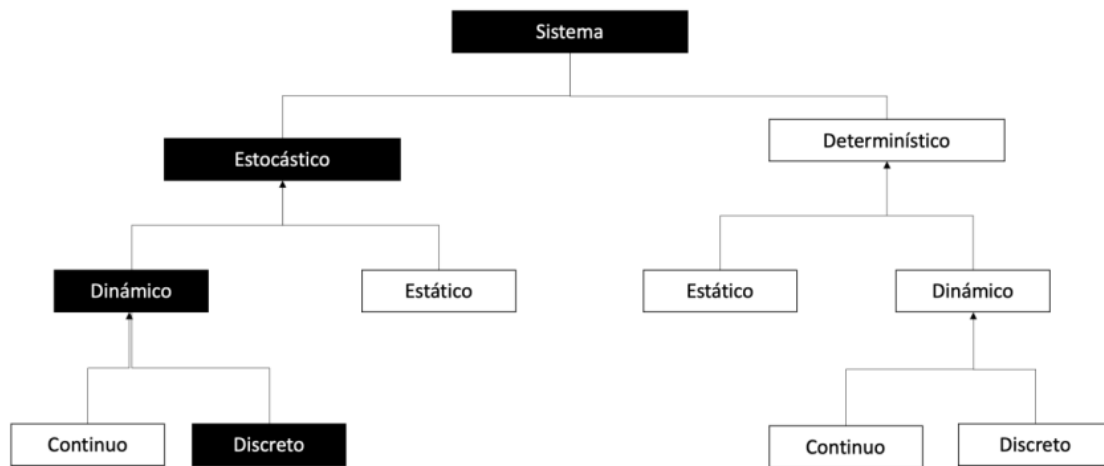
Fuente: elaboración propia.

Las variables que se describen mediante la simulación de eventos discretos son, como su nombre indica, variables discretas. En este contexto, se realiza una partición

específica en el tiempo para detallar en qué estado se encuentra el sistema. Para comprender los tipos de sistemas que se abordan a través de eventos discretos, observe el Gráfico 1, el ejemplo es un sistema estocástico desde el punto de vista que los tiempos en que se realizan los procesos están sujetos a la aleatoriedad, es dinámico pues cambia con el tiempo, no es lo mismo lo que sucede en el minuto 3 que, en el 100, y es discreto pues se realizan particiones específicas en el tiempo para observar y describir los procesos.

Figura 1

Clasificación de sistemas



Fuente: elaboración propia tomando como base Rossetti (2016).

La simulación, según Rosseti (2016), no sólo puede ser estocástica, dinámica y discreta, sino que también se puede clasificar como descriptiva o predictiva. El enfoque descriptivo se centra en la descripción detallada del sistema y sus interacciones. Tomando como ejemplo un sistema de manufactura, esta modalidad de simulación permite visualizar el movimiento de los productos a lo largo de las operaciones, la participación de los recursos (máquinas y obreros), y facilita la identificación de operaciones subutilizadas o sobre utilizadas. Al simular a lo largo de un periodo extenso, se obtiene una comprensión del

tiempo promedio que tarda un producto en ser procesado desde que ingresa al sistema hasta que sale del mismo. Además, proporciona el promedio del número de productos que pueden completarse en un turno de trabajo (productividad). Estos indicadores resultan cruciales para la toma de decisiones y la comprensión global del sistema.

En contraste, la simulación predictiva se basa en la prueba de diversos escenarios. En el contexto de un sistema de manufactura, implica la evaluación de diferentes cantidades de recursos (máquinas u obreros) o la variación en la disposición de las máquinas. La comparación de estos escenarios permite determinar cuál opción resulta más conveniente en términos de indicadores específicos. Este enfoque encarna el principio de optimización en la simulación, que consiste en buscar la mejor solución posible entre diversas alternativas. Este proceso implica la realización de múltiples simulaciones con configuraciones o parámetros variables, evaluando de manera sistemática el rendimiento de cada opción para identificar la más eficiente o efectiva con el propósito de mejorar el rendimiento o alcanzar objetivos predefinidos en el sistema.

El método de la transformada inversa para hacer simulación

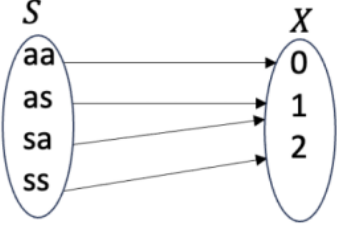
En numerosas situaciones de la vida real, los procesos de llegada y servicio suelen suceder de manera aleatoria, y esta variabilidad puede ser modelada de manera efectiva. La estrategia óptima consiste en construir un modelo de probabilidad basado en datos históricos. Utilizando números aleatorios distribuidos uniformemente en el intervalo $(0,1)$, se puede recrear de manera precisa el comportamiento real de estos procesos. Este enfoque no sólo permite capturar la naturaleza aleatoria de las ocurrencias, sino que también proporciona una representación fiel de la variabilidad inherente a las situaciones del mundo real. La utilización de datos históricos y la generación de números aleatorios proporciona una herramienta valiosa para simular y comprender la complejidad de los eventos aleatorios en diversos contextos, contribuyendo así a una modelización más precisa y útil de fenómenos realistas.

Para explicar un poco cómo funciona el concepto de transformada inversa, tomaremos como base el ejemplo del experimento aleatorio que consiste en el lanzamiento de dos

monedas del Cuadro 1. El siguiente paso consiste en construir la función de densidad $f(x)$ de probabilidad utilizando el concepto de probabilidad frecuentista, y posteriormente construir la función de densidad acumulada $F(x)$, este cálculo depende de si la variable aleatoria es discreta o continua, y a partir de esta acumulada se construye el método de la transformada para hacer simulación como se muestra en la Cuadro 2.

Cuadro 2

Método de la transformada inversa

<p>Variable aleatoria: sea (X) el número de soles encontrados en el lanzamiento de las dos monedas.</p>													
<p>Función de densidad de probabilidad $f(x)$: en este caso los eventos del espacio muestral (S) son en total 4. Se revisan los eventos equivalentes, es decir, que 0 soles, es el evento aa, como en este caso es 1 solo en el evento la probabilidad frecuentista es 1 entre 4. En el caso de 1 sol, son 2 eventos as y sa, por lo tanto, la probabilidad es $2/4$.</p>	<table border="1" data-bbox="1016 1024 1172 1230"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>$f(x)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1/4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1/4</td> </tr> </tbody> </table>	X	$f(x)$	0	1/4	1	1/2	2	1/4				
X	$f(x)$												
0	1/4												
1	1/2												
2	1/4												
<p>Función de densidad de probabilidad acumulada $F(x)$: como es el caso discreto, simplemente se suman las probabilidades es decir $F(x) = p[X \leq x]$</p>	<table border="1" data-bbox="976 1398 1216 1604"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>$f(x)$</th> <th>$F(x)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1/4</td> <td>1/4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1/4</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	X	$f(x)$	$F(x)$	0	1/4	1/4	1	1/2	3/4	2	1/4	1
X	$f(x)$	$F(x)$											
0	1/4	1/4											
1	1/2	3/4											
2	1/4	1											
<p>Método de la transformada inversa: aprovechando que la $F(x)$ está definida entre 0 y 1, se generan números</p>	<p>Transformada inversa $F^{-1}(x)$</p> <p>$0 \leq U < 0.25, x = 0$</p> <p>$0.25 \leq U < 0.5, x = 1$</p>												

<p>aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1 $U(0,1)$ y si el valor entre 0 y el primer valor de la $F(x)$, 0.25 entonces el valor de la variable aleatoria es $x = 1$ es decir que de las dos monedas lanzadas son 1 sol y 1 águila en los dos lanzamientos.</p>	<p>$0.5 \leq U \leq 1, x = 2$</p> <p>Entonces si genero los siguientes aleatorios entre cero 1 el valor de variable X simulada (sin hacer ningún lanzamiento es:</p> <table border="1" data-bbox="1019 457 1170 611"> <thead> <tr> <th>U</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.18</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.83</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	U	X	0.18	0	0.83	2
U	X						
0.18	0						
0.83	2						

Fuente: elaboración propia.

Revisión del estado del arte

La simulación de eventos discretos (SED) se ha aplicado con éxito en diversos aspectos de las empresas manufactureras. Johansson (2002) y Vaidyanathan (1998) han demostrado su potencial para mejorar el rendimiento y la programación de la producción, respectivamente. Sin embargo, la complejidad de la tecnología de SED puede convertirse en un obstáculo para su pleno aprovechamiento (Johansson, 2009). Semini (2006) y Qiao (2021) ofrecen una visión integral de sus aplicaciones en la toma de decisiones logísticas de manufactura y en el software de simulación de plantas, respectivamente. Además, Hussain (2019) y Smith (1994) resaltan su papel en el respaldo a la metodología Seis Sigma y en el control del piso de producción en organizaciones manufactureras.

Qiao y Wang (2021) realizan una revisión de las aplicaciones del software Plant Simulation que es un software de eventos discretos que se usa en sistemas de manufactura, observando que las aplicaciones son principalmente en configuración de las áreas de producción, ruteo, distribución del material desde inventarios hasta producción, etc. Sin embargo, marcan como área de oportunidad, la optimización de parámetros de producción, incorporar más restricciones que incorporen escenarios reales, entre otras. Este fue una de las áreas de oportunidad observadas cuando se implementó la SED en los casos que presentamos a continuación.

La utilización de la simulación de eventos discretos en empresas mexicanas es un ámbito que no ha sido ampliamente estudiado. Sin embargo, diversos autores han resaltado los beneficios potenciales de esta tecnología en la toma de decisiones, reducción de costos y optimización de procesos en diversas industrias (Castrillón, 2008; Lendermann et al., 2003; Rincón y Perez, 2004; Goti, 2010; Ing et al., 2005; Hussain et al., 2019). Se ha aplicado con éxito en la industria del mueble (Castrillón, 2008) y la industria petrolera (Rincón y Perez, 2004; Ing et al., 2005), y se ha recomendado su uso en la gestión de cadenas de suministro (Lendermann et al., 2003; Wang e Ingham, 2008) y la mejora de procesos en organizaciones manufactureras (Hussain et al., 2019). A pesar de ello, se ha subrayado la necesidad de desarrollar una nueva generación de software de simulación de eventos discretos (Goti, 2010; Ing et al., 2007).

Algunos trabajos encontrados de aplicaciones en empresas mexicanas del 2018 a la fecha se muestran a continuación. Muñoz-Villamizar et al. (2021) desarrollan un modelo de simulación de eventos discretos para entender y comparar el impacto de ciertos parámetros (ventanas de entrega, políticas de gestión de inventario, tipo de camión) en la sostenibilidad de la logística de entrada. Se valida con el mayor minorista de México para analizar la sostenibilidad del envío rápido y reducir su impacto ambiental.

González-Resendíz et al. (2018) definen un costo de distribución óptimo para productos enviados a clientes mayoristas en diferentes ciudades de México desde una planta en Tijuana. Utilizan simulación de eventos discretos para modelar virtualmente el proceso logístico, permitiendo experimentos con diseño de superficie de respuesta para optimizar parámetros clave. Villagómez et al. (2019) demuestran cómo la simulación de eventos discretos con ciclos de investigación-acción respalda la toma de decisiones en la mejora de procesos en el sector automotriz, considerando el consumo de energía, estrategias de mantenimiento y procesos sostenibles.

Chavarría-Barrientos et al. (2018) presentan herramientas emergentes para el soporte de decisiones en la fabricación digital, proponiendo una metodología para guiar el diseño y la operación de sistemas de producción mediante la simulación de eventos discretos. González et al. (2018) ofrecen un enfoque aplicable para la optimización simultánea de variables de respuesta en un proceso de almacén, utilizando simulación y la metodología

de superficie de respuesta para modelar y analizar eficientemente un sistema multivariado.

Estos trabajos muestran la efectividad de la SED en casos aplicadas, especialmente aplicados a procesos relacionados con sistemas de producción. En cuanto a las empresas de calzado industrial en México se encontró el primer caso de estudio que explicaremos a continuación (Calderón-Andrade et al., 2020). Woldemicael (2019) presenta un estudio a nivel internacional sobre la reducción de perturbaciones en la producción de una industria de fabricación de calzado mediante la simulación de eventos discretos. El estudio se lleva a cabo en la fábrica de calzado Peacock, ubicada en Addis Abeba, Etiopía. La fábrica enfrenta problemas de equilibrio de líneas que afectan la producción en sus líneas de ensamblaje. Se realiza un estudio detallado del tiempo para un modelo de calzado seleccionado utilizando un cronómetro. Se utiliza un gráfico de proceso de ensamblaje para comprender la secuencia cronológica de las operaciones. Se emplea el analizador de entrada de Arena para ajustar los datos de entrada y se realiza una prueba K-S para validar la bondad del ajuste. Así, se desarrolla un modelo de simulación para las líneas de ensamblaje existentes de costura, duración y acabado, considerando suposiciones básicas de simulación.

Amjad et al. (2022) utilizaron la simulación de eventos discretos para mejorar la productividad laboral en una destacada empresa de fabricación de calzado en Pakistán. El estudio se centró en el departamento de duración, abarcando diecinueve procesos vitales necesarios para lograr la forma final del calzado. Se realizó un análisis exhaustivo de todas las operaciones y se recopilaron datos confiables sobre los tiempos de ciclo. Se llevó a cabo un análisis estadístico para determinar la distribución sugerida de todos los procesos.

Casos de estudio en empresas de calzado mexicanas

Empresa 1

¹ Es una empresa con tradición zapatera de más de 75 años de experiencia, dedicados a la fabricación de calzado de seguridad en el estado de Hidalgo, México. ¹ Se solicitó realizar un estudio debido a las deficiencias que presentaba el Área de Decorado, siendo ésta la penúltima área de producción dentro de la Empresa X (por motivos de

confidencialidad se nombra Expresa X¹). Durante los cuatro meses, se observaron los procesos, el personal, la maquinaria, y el equipo adicional del proceso; se recolectó información y conforme avanzó la estadía en la empresa, se observó un mal flujo de materiales que ocasionaba retrasos, se realizó la toma tiempos de cada actividad que conformaba este proceso; pero en ese momento no se encontró una metodología que permitiera dar solución a dicho problema y que además sustentara teóricamente cualquier decisión que fuera a tomarse.

El enfoque de este trabajo fue práctico, orientado a mejorar los procesos. Se realizó un análisis exhaustivo del proceso actual y sus deficiencias mediante la Reingeniería, que luego se utilizaron para proponer un cambio. La propuesta fue evaluada mediante Simulación. Este método de fusión de Reingeniería y Simulación puede ser aplicado en otras empresas, especialmente en pequeñas y medianas, con adaptaciones necesarias, para más información puede revisar el trabajo de Calderón-Andrade et al. (2020).

Metodología

Como se mencionó, el problema de la baja productividad en la Línea 1 de Decoración fue abordado mediante la Reingeniería del proceso. Se propuso mejorar indicadores como la cantidad de productos al final del turno, uso de recursos e inventario en cada actividad. Se recolectaron datos y se realizaron análisis estadísticos para establecer patrones de comportamiento. Los tiempos de producción de la Línea 1 fueron utilizados en la Simulación para comparar el diseño actual con la propuesta.

Análisis del Proceso y Propuesta

La propuesta surgida en esta fase consideró la fusión de ambas líneas de decoración debido a su viabilidad económica. Se descartaron otras ideas que podrían generar problemas entre los trabajadores o costos económicos no asumibles en ese momento. La distribución de maquinaria y equipos en la propuesta cambió, creando un nuevo diseño de planta con un flujo más lógico y eficiente. La propuesta fue validada mediante Simulación en el software Arena™.

Simulación

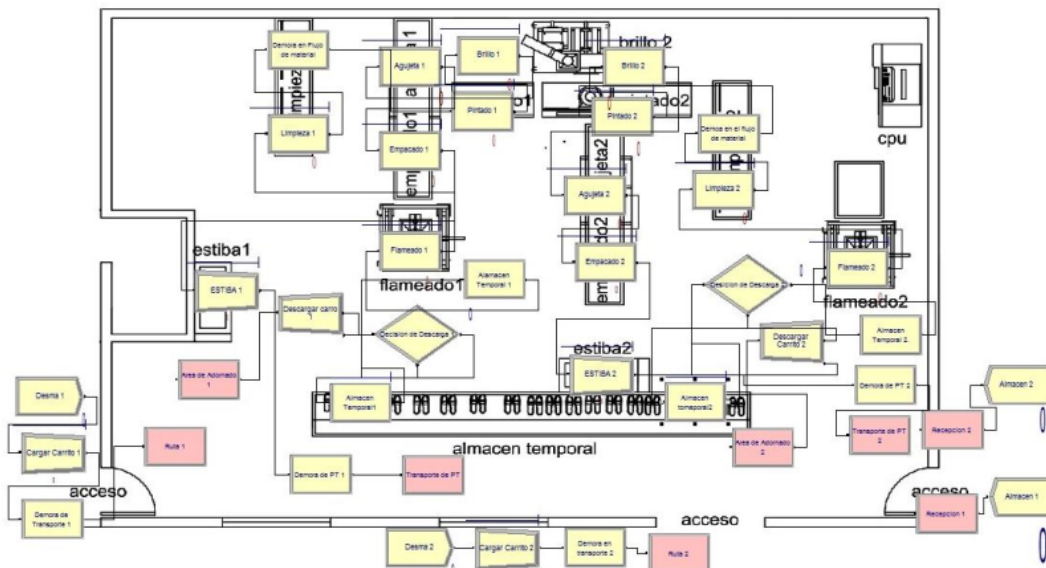
Para comparar el proceso actual con la propuesta, se ejecutó una Simulación utilizando la metodología sugerida por Kelton(2008). Esta metodología Se definieron sistemas para replicar el proceso actual y la propuesta. Se formularon modelos conceptuales para cada situación y se recopilaron datos de tiempos durante febrero a abril de 2019. La implementación de la Simulación se realizó en el software Arena™.

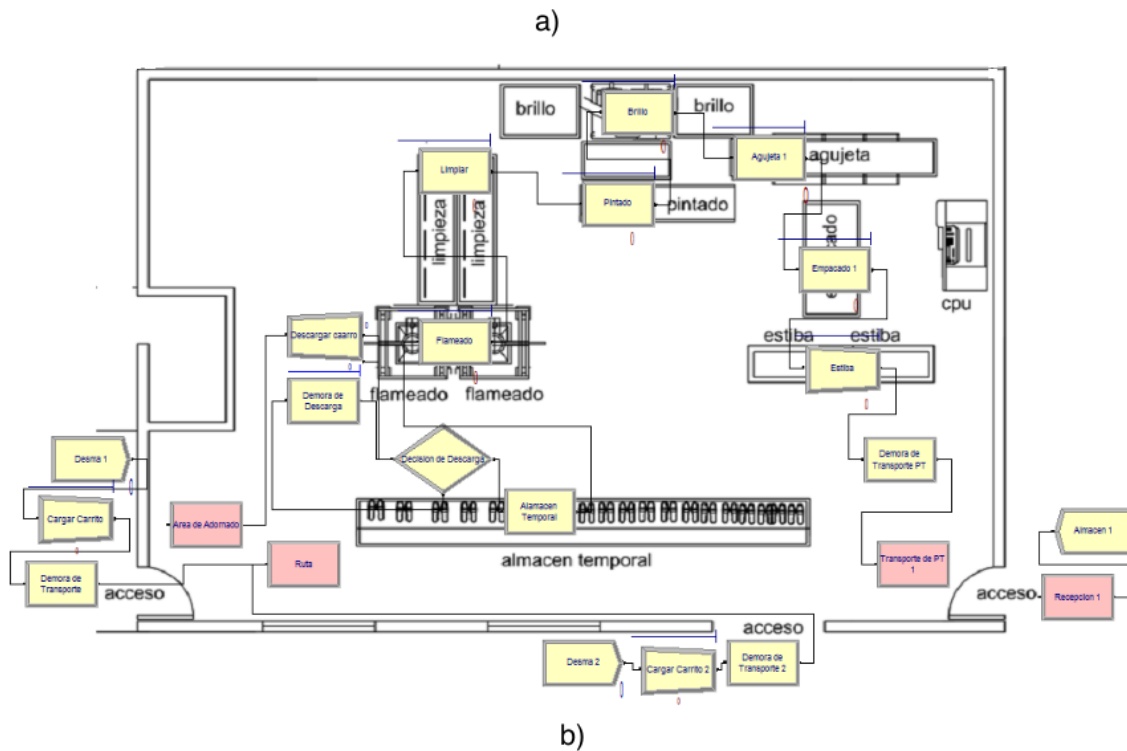
Implementación

La propuesta fue validada a través de Simulación, y se llevó a cabo una reunión para discutir la necesidad de rediseñar el Área de Decoración. Se formó un equipo de Reingeniería, liderado por el gerente de calidad, con representantes de ingeniería, recursos humanos y almacenes. La implementación se realizó en 35 días, siguiendo un plan detallado que incluía la redistribución de recursos y cambios en el flujo de trabajo. A continuación, se muestran en el Gráfico 2 el modelo inicial (a) y la propuesta (b) realizados en el software Arena™.

Figura 2

Modelo en Arena™ a) sistema actual con dos líneas diferentes, b) en la propuesta las dos líneas se fusionan en forma de U





Fuente: elaboración propia.

Resultados

La empresa sólo permitió discutir la implementación de manera general, pero los resultados históricos mostraron un aumento de productividad superior al pronosticado por la simulación. El Cuadro 3 se muestra una comparación entre el sistema inicial y la propuesta en términos de producción promedio por día.

Cuadro 3

Comparación de indicadores del proceso, producción promedio por día: actual – propuesta.

Actividad	Producción promedio por día Proceso Actual			Propuesta Utilizando mismos
	Línea 1	Línea 2	Total	
	1			

				recursos humanos
Flameado	975.00	991.00	1966.00	2856.00
Limpieza	834.00	863.00	1697.00	2154.00
Pintura	816.00	850.00	1666.00	2144.00
Brillo	816.00	840.00	1656.00	2142.00
Colocación agujeta	814.00	848.00	1662.00	2139.00
Empaque	814.00	847.00	1661.00	2138.00

Fuente: elaboración propia tomando en consideración los resultados proporcionados por Arena™.

Empresa 2

La empresa Industrias Isar se posiciona como un referente destacado en la industria del calzado de playa (aquashoes), destacando por su compromiso con la calidad, el diseño innovador y su enfoque sostenible. Fundada en 2017, la compañía ha experimentado un crecimiento constante, consolidándose como una marca confiable y respetada en el mercado.

Figura 3

Plano 1, instalaciones antes de realizar la mejora



Fuente: elaboración propia.

Metodología

En este caso también se utilizó la metodología de Kelton(2008) para realizar la simulación que consiste de los siguientes pasos:

- a) *Definición del problema y objetivos:* A partir de la observación, análisis y trabajo colaborativo se llegó al problema: estaciones de trabajo sobrecargadas, aumento de costos operativos y falta de eficiencia en la producción. El objetivo es la mejora de distribución, reducción de demoras, control de costos operativos e incremento de la eficiencia general con el objetivo de lograr la mejora continua.
- b) *Desarrollo del Modelo Conceptual:* En este punto se identificaron las estaciones de trabajo, recepción de corte, máquina de inyección directa al corte, detallado de calzado, suajado de plantilla, área de colocación de transfer y emplantillado, envío de producto terminado al almacén. En este paso, también se definen los parámetros: tiempo de procesamiento en estaciones de trabajo, tiempos de espera en colas y tiempos de transporte.

- c) *Colección de datos*: tiempo de procesamiento en estaciones de trabajo, tiempos de espera en colas y tiempos de transporte, tomados en diferentes días en un periodo de 3 meses.
- d) *Desarrollo del Modelo de Simulación*: Este se modeló en el software Arena™.
- e) *Verificación del Modelo*: Se revisó el modelo conceptual y se aseguró que todos los componentes clave, procesos y relaciones se hayan traducido correctamente al modelo de Arena™.
- f) *Validación del Modelo*: Se compararon los datos de la producción real con los resultados de la simulación para garantizar que el modelo tenga una representación precisa del sistema.
- g) *Diseño de Experimentación en la Simulación*: Se simuló diferentes escenarios haciendo corridas largas (30 días, 30 réplicas) variando la velocidad de las máquinas, la asignación de recursos, cambios con alta, media y baja demanda.
- h) *Recopilación de Datos y Análisis de resultados*: Los resultados de la simulación son proporcionados a través del software y se realiza el análisis a través de la exportación de datos, generación de gráficos y reportes, estadística descriptiva, estadística inferencial (intervalos de confianza), análisis del desempeño de recursos.
- i) *Interpretación de resultados*: Se realizó la comparación entre la propuesta y el proceso actual.
- j) *Documentación y Presentación*: Presentación del proyecto a Dirección General.

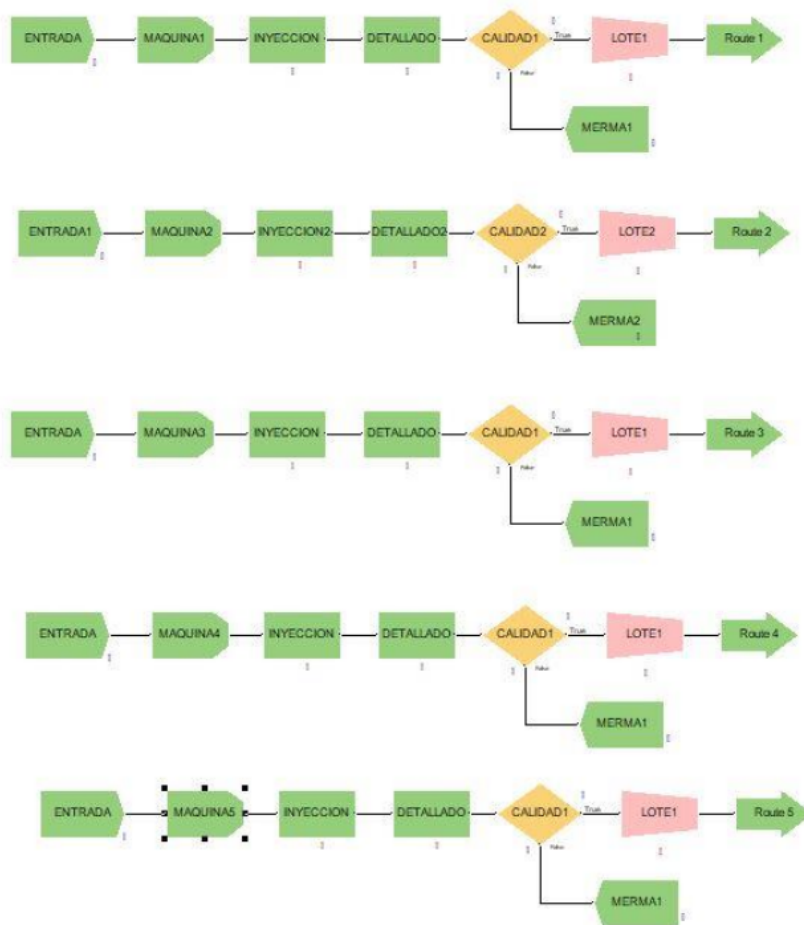
Análisis del Proceso y Propuesta

La reubicación de las instalaciones brindó la oportunidad de crear un nuevo espacio de trabajo y realizar mejoras en la distribución existente. La disposición anterior de maquinaria y equipo en el área de producción era inadecuada, generando cuellos de botella significativos que afectaban negativamente la fluidez del proceso. Algunas estaciones de trabajo estaban sobrecargadas, mientras que otras operaban por debajo de su capacidad máxima, causando desequilibrios en la cadena productiva. Esto resultaba en demoras en la entrega de pedidos, un aumento en los costos operativos y

una notoria disminución en la eficiencia general de la producción. La implementación se llevó a cabo en el Software Arena™, en el Gráfico 4 se observa el modelo rediseñado.

Figura 4

Modelo del escenario rediseñado en software Arena™



Fuente: elaboración propia.

Después de las realizar corridas se logró identificar con precisión los puntos críticos y los cuellos de botella en la línea de producción. También se evaluaron diferentes escenarios de producción sin exponerse a riesgos operativos reales. Además, se optimizó el uso de recursos y los tiempos de ciclo, lo cual contribuye a mejorar la eficiencia general del proceso productivo. Finalmente, se desarrolló un pronóstico sobre la capacidad de

producción y la flexibilidad de la línea para adaptarse a variaciones en la demanda del mercado. En el Cuadro 4 se compara la producción anterior con la propuesta y se calcula un porcentaje de incremento.

Cuadro 4

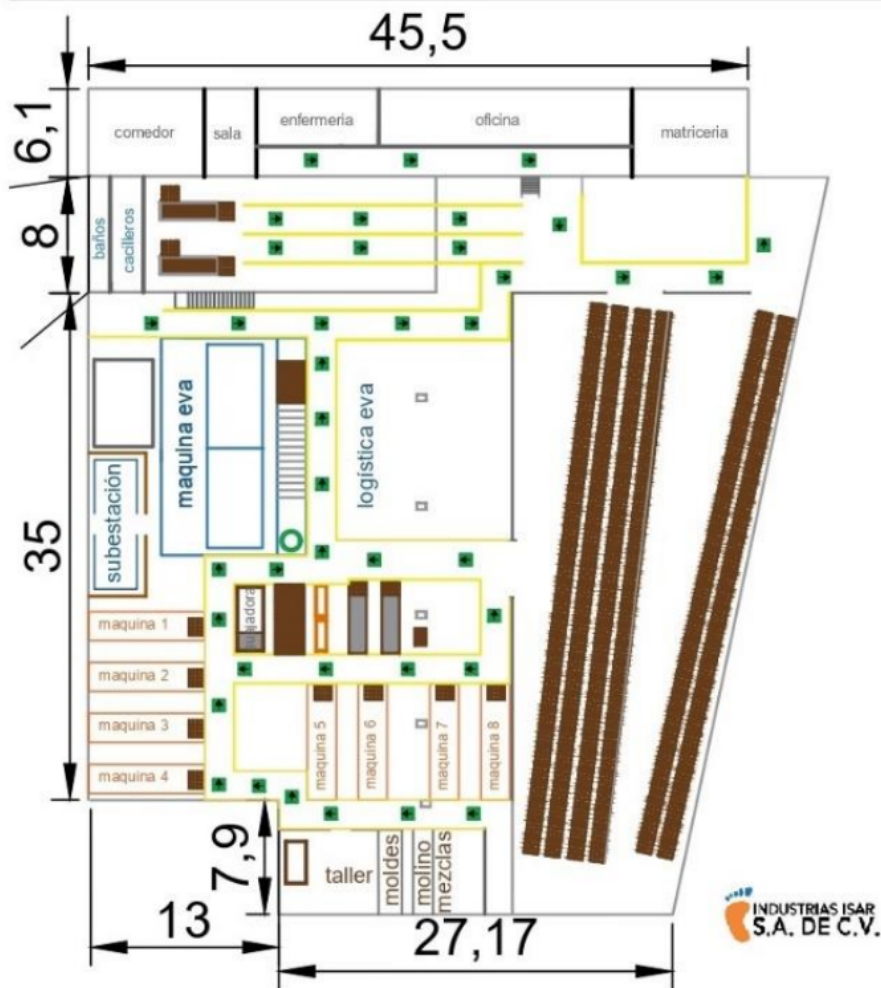
Comparación de producción por máquina del incremento, promedio por día: Plano 1- Plano 2

Producción promedio de pares por día			
Actividad	Plano 1	Plano 2	Incremento
Máquina 1	475	610	22%
Máquina 2	485	635	24%
Máquina 3	520	625	17%
Máquina 4	490	615	20%
Máquina 5	580	648	10%
Máquina 6	510	655	22%
TOTAL	3060	3788	19%

Fuente: elaboración propia tomando en consideración los resultados proporcionados por Arena™.

Figura 5

Plano 2, instalaciones con la mejora



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

La simulación de eventos discretos en la industria del calzado se aplica para analizar y optimizar procesos en la fabricación y cadena de suministro. Este enfoque se emplea para representar eventos críticos, como elaboración, almacenamiento, llegada de materiales, producción, control de calidad, empaque y envío. Permite evaluar configuraciones de líneas de producción, procesos y sistemas de control de calidad para

mejorar la eficiencia en la fabricación de calzado. La simulación proporciona una herramienta estratégica para anticipar escenarios, optimizar recursos y tomar decisiones informadas en un entorno competitivo.

El capítulo también destaca la motivación y los desafíos que enfrentan las empresas al adoptar la simulación, como la necesidad de decisiones fundamentadas y la gestión de expectativas. Se resalta la importancia de la simulación en la industria 4.0, donde se ha vuelto crucial para la implementación exitosa de la fabricación digital. Además, se explora la clasificación de sistemas y la variable aleatoria en el contexto de la simulación de eventos discretos. Se describe cómo la simulación puede ser descriptiva o predictiva, proporcionando una comprensión detallada del sistema o evaluando diferentes escenarios para optimización.

El método de la transformada inversa se menciona como una estrategia efectiva para modelar procesos aleatorios basados en datos históricos, utilizando números aleatorios distribuidos uniformemente para recrear el comportamiento real. Este enfoque contribuye a una modelización precisa de fenómenos realistas en situaciones de variabilidad.

El uso de la simulación de eventos discretos (SED) ha demostrado éxito en mejorar el rendimiento y la programación de la producción en empresas manufactureras a nivel internacional, según estudios como los de Johansson (2002) y Vaidyanathan (1998). Aunque ha sido aplicada con eficacia en diversos sectores en México, como la industria del mueble y petrolera, se destaca la necesidad de desarrollar una nueva generación de software de SED (Goti, 2010; Ing et al., 2007). Trabajos recientes en empresas mexicanas, como el de Muñoz-Villamizar et al. (2021) en logística sostenible, resaltan la importancia de avanzar en aplicaciones más complejas de SED, indicando oportunidades en la optimización de parámetros y la incorporación de restricciones realistas. El estudio de Calderón-Andrade et al. (2020) destaca la relevancia de la SED en la mejora de la producción de calzado industrial. Estos casos subrayan la necesidad de seguir trabajando en el desarrollo y aplicación futura de la SED para optimizar procesos y tomar decisiones informadas en diversas industrias.

En el primer caso de estudio de empresas de calzado industrial, se utilizaron la Reingeniería y la Simulación para abordar problemas en una empresa de calzado. Se analizaron indicadores como el porcentaje de uso de cada actividad y la producción final de pares de zapatos en el Área de Decoración. La fusión de las líneas mejoró significativamente la eficiencia, superando el proceso actual. Se observó que la actividad de Pintura estaba subutilizada debido a altos inventarios generados en la actividad de Limpieza. Se realizaron simulaciones en Arena™ para comparar modelos originales y propuestos, utilizando las mismas distribuciones de probabilidad y personal. La propuesta, tras optimizar recursos con la herramienta de Arena™ OptQuest, aumentó la producción diaria en un 41%. La implementación en la empresa resultó en mejoras notables, como un uso más eficiente del espacio y recursos. Aunque no se aportaron contribuciones teóricas, se destacan los aportes prácticos para mejorar procesos y realizar análisis exhaustivos.

En el segundo caso, Industrias Isar se aplicó la metodología de simulación para optimizar su producción. Se redefinieron los procesos para aliviar estaciones sobrecargadas y reducir costos, usando el software Arena™ para el rediseño. Tras simular distintos escenarios y analizar datos, se ajustaron recursos y procesos, logrando identificar cuellos de botella y mejorar la eficiencia. La nueva disposición de las instalaciones y la mejor distribución de tareas permitieron aumentar la capacidad de producción y la adaptabilidad a la demanda, evidenciando un incremento porcentual en la productividad según el Cuadro 4. Estos casos muestran la utilidad de la simulación de eventos discretos a empresas de calzado, pero la metodología de simulación por si sola o su combinación con otras como Reingeniería puede traer mejoras significativas a las organizaciones.

Referencias

- Amjad, A., Shah, Z. A., Ramzan, I., & Khan, S. (2022). Optimizing production efficiency in Pakistani shoe manufacturing: A simulation-based analysis. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*.
- Bapat, V., & Pruitte, E. B. (1998, December). Using simulation in call centers. In *1998 Winter Simulation Conference Proceedings* (Cat. No. 98CH36274) (Vol. 2, pp. 1395-1399). IEEE.

- Babulak, E., & Wang, M. (2008, October). Trends in discrete event simulation. In *UKSIM European Symposium on Simulation Conference Proceedings* (Cat. No. 98CH36274) (Vol. 2, pp. 1395-1399). IEEE.
- Calderón-Andrade, R., Hernández-Gress, E. S., & Montufar Benítez, M. A. (2020). Productivity improvement through reengineering and simulation: A case study in a footwear industry. *Applied Sciences*, 10(16), 5590. <https://doi.org/10.3390/app10165590>
- Castrillón, J. V. (2008). La simulación de procesos, clave en la toma de decisiones. *DYNA-Ingeniería e Industria**, 83(4).
- Centeno, M. A., & Carrillo, M. (2001, December). Challenges of introducing simulation as a decision-making tool. In **Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference** (Cat. No. 01CH37304) (Vol. 1, pp. 17-21). IEEE.
- Chavarría-Barrientos, D., Villagomez, L. E., Miranda, J., Molina, A., Batres, R., Gutierrez, I., ... & Puente, J. (2018). A methodology to support manufacturing system design using digital models and simulations: An automotive supplier case study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1598-1603. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.330>
- Checkland, P. (2000). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. Limusa.
- Coss, R. (2003). *Simulación: Un enfoque práctico*. Limusa.
- González-Reséndiz, J., Arredondo-Soto, K. C., Realyvásquez-Vargas, A., Híjar-Rivera, H., & Carrillo-Gutiérrez, T. (2018). Integrating simulation-based optimization for lean logistics: A case study. *Applied Sciences*, 8(12), 2448. <https://doi.org/10.3390/app8122448>
- Greer, A. B., & Franklin, M. M. (2017, December). Key considerations for starting or maintaining your simulation department. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 4421-4421). IEEE.
- Greasley, A. (2017). *Simulation modelling for business*. Routledge.
- Hollocks, B. W. (1995). The impact of simulation in manufacturing decision making. *Control Engineering Practice*, 3(1), 105-112.
- Hughes, R. W., & Perera, T. (2009). Embedding simulation technologies into business processes: Challenges and solutions. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 5(3), 184-191.
- Hussain, A., Munive-Hernández, J. E., & Campean, I. F. (2019). Developing a discrete event simulation methodology to support a six-sigma approach for manufacturing

- organization - Case study. In *Proceedings of the 3rd European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, July 23-26, Pilsen, Czech Republic. <http://hdl.handle.net/10454/17052>
- Ingallis, R. G. (1998, December). The value of simulation in modeling supply chains. In *1998 Winter Simulation Conference Proceedings* (Cat. No. 98CH36274) (Vol. 2, pp. 1371-1375). IEEE.
- Ing, E., Babulak, E., & Wang, M. (2010). Discrete event simulation: State of the art. In *Discrete Event Simulations* (pp. 1-9). InTech.
- Kelton, D., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). *Simulation with Arena* (4th ed.). McGraw Hill.
- Lendermann, Julka, Chan, & Gan. (2003, December). Integration of discrete event simulation models with framework-based business applications. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003* (Vol. 2, pp. 1797-1804). IEEE.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia CIRP*, 25, 213-229.
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: State of the art and new trends. *International Journal of Production Research**, 58(7), 1927-1949. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652776>
- Muñoz-Villamizar, A., Velázquez-Martínez, J. C., Haro, P., Ferrer, A., & Mariño, R. (2021). The environmental impact of fast shipping ecommerce in inbound logistics operations: A case study in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 283, 12540. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.12540>
- Pritsker, A. A. B. (1989, October). Why simulation works. In **Proceedings of the 21st Conference on Winter Simulation** (pp. 1-9).
- Rincon, G., Alvarez, M., Perez, M., & Hernandez, S. (2005). A discrete-event simulation and continuous software evaluation on a systemic quality model: An oil industry case. *Information & Management*, 42(8), 1051-1066.
- Rincon, G., & Perez, M. (2004). Discrete-event simulation software decision support in the Venezuelan oil industry. *AMCIS 2004 Proceedings*, 77.
- Robinson, S. (2005). Discrete-event simulation: From the pioneers to the present, what next?. **Journal of the Operational Research Society*, 56, 619-629.
- Rossetti, M. D. (2016). *Simulation modeling with Arena*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons.

- Qiao, D., & Wang, Y. (2021, March). A review of the application of discrete event simulation in manufacturing. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1802, No. 2, p. 022066). IOP Publishing.
- Villagomez, L. E., Cortés, D., Ramírez, J., Álvarez, A., Batres, R., Reyes, I., ... & Molina, A. (2019). Discrete event simulation as a support in the decision making to improve product and process in the automotive industry-a fuel pump component case study. In *Collaborative Networks and Digital Transformation: 20th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2019, Turin, Italy, September 23–25, 2019, Proceedings* (pp. 572-581). Springer International Publishing.
- Wang, Q., & Ingham, N. (2008). A discrete event modelling approach for supply chain simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, 7(3).
- Woldemicael, W. W. (2019). Reduction of production disturbances of a shoemaking industry through a discrete event simulation approach. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(1), 215-243.

Capítulo VIII. Análisis y simulación del proceso productivo de una PYME mediante una red de Petri estocástica

Héctor Rivera-Gómez^{*}
Alejandra Gómez Padilla^{**}
Gustavo Erick Anaya-Fuentes^{***}
Oswaldo Antonio Ortega-Reyes^{****}

Resumen

Este estudio presenta una metodología novedosa para modelar y analizar el ciclo de producción en la industria porcina, con el objetivo de abordar la complejidad inherente de este proceso y ofrecer herramientas efectivas para optimizarlo. Se emplea un enfoque basado en redes de Petri estocásticas, una técnica que permite capturar la dinámica temporal y las interacciones complejas presentes en la producción porcina. La metodología se centra en la construcción de una red de Petri que representa con precisión los distintos componentes del ciclo productivo, desde la cría y alimentación de los cerdos hasta la distribución de la carne. Los resultados obtenidos muestran la eficacia de este enfoque para modelar la complejidad del ciclo productivo porcino. La red de Petri desarrollada exhibe propiedades fundamentales que reflejan la dinámica del proceso y su comportamiento estocástico. La validación de los resultados de la simulación respalda la robustez de la metodología propuesta. Las implicaciones de este estudio son significativas para la industria porcina, ya que proporciona una herramienta poderosa para la toma de decisiones y la optimización de procesos. Al ofrecer una visión detallada del proceso productivo, la metodología permite identificar áreas de mejora y oportunidades de optimización. Además, facilita la evaluación de escenarios alternativos y la planificación estratégica basada en datos sólidos y análisis rigurosos. Finalmente,

^{*} Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2903-2909>

^{**} Doctora en Ingeniería Industrial. Profesora-investigadora, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1465-020X>

^{***} Doctor en Ingeniería Industrial. (CARGO O NOMBRAMIENTO INSTITUCIONAL), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3708-6763>

^{****} Doctor en Administración. (CARGO O NOMBRAMIENTO INSTITUCIONAL), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-428-664X>

este estudio destaca el potencial de las redes de Petri estocásticas como una herramienta valiosa para entender y optimizar el ciclo productivo en la industria porcina, lo que contribuye al crecimiento y la sostenibilidad del sector.

Palabras clave: *red de Petri estocásticas, optimización de procesos, producción, industria porcina*

2 Introducción

El objetivo de este capítulo consiste en aplicar técnicas alternativas de modelación del ciclo productivo de una empresa productora de carne de cerdo mediante una red de Petri estocástica. De manera en particular, se analiza detalladamente la red de Petri asociada al comportamiento del ciclo productivo de la empresa productora con el fin de evaluar su evolución en el tiempo. La hipótesis de investigación considera que el ciclo productivo puede ser modelado por una red de Petri estocástica viva. En esta sección se presentan datos relevantes sobre el sector productivo porcino en el país, esto con la finalidad de proveer un contexto económico a la investigación. Además, se presentan algunos conceptos clave sobre redes de Petri y cadenas de Markov, se realiza una exhaustiva revisión de la literatura, donde se presentan algunos autores relevantes al problema bajo estudio.

Antecedentes: Situación de la producción de carne de cerdo en México

El sector de producción de carne de cerdo en el país, ha presentado una tendencia creciente desde el periodo de 1996 al año 2022. A fin de contextualizar el tamaño del sector, en el año 2005 la producción porcícola es de alrededor de 1,087,800 toneladas. Las proyecciones del sector realizadas con base en datos del gobierno consideran crecimiento para los próximos años. Desde el año 2010 al año 2020 el crecimiento del sector fue de alrededor del 40%, reflejando una tasa media de crecimiento anual del 3.5%. Considerando el contexto internacional, se tienen datos que indican que el consumo de carne de cerdo presentara una tendencia de crecimiento en los próximos años. Por esta razón se tiene el consenso internacional de realizar de una manera más profesional la actividad de crianza de cerdos y otros animales del tipo bovino y caprino. Asimismo, es necesario eficientar los procesos de abasto de los mercados, los cuales

demandan en mayor medida este tipo de productos. Una práctica de las empresas dedicadas al sector porcícola considera aumentar la producción de carne de cerdo mediante la crianza y el cuidado se cerdas que sean rentables para la generación de nuevos lechones, SENASICA (2022).

Con respecto a los costos implicados en la producción del sistema analizado, se tiene que el rubro de alimentación de los cerdos es el rubro más grande, el segundo punto son los costos financieros. También son relevantes los costos de energía eléctrica, transportes, combustibles, mantenimiento, impuestos, etc. En el proceso productivo igualmente debe de considerarse los medicamentos. La realidad del país, refleja que el sector porcícola presenta procesos semitecnificados de producción, donde un número considerable de empresas reportan niveles de pérdida, pues a pesar de que se realizan acciones para reducir los costos, el hecho de tener índices bajos de productividad, no les permite a los pequeños productores competir con las empresas tecnificadas. Esto fuerza a que los pequeños productores, se enfoquen en atender mercados regionales, los cuales en la mayoría de los casos son pequeños, donde generalmente no tienen competencia de empresas tecnificadas o productos de importación.

En base en los datos discutidos, resalta la necesidad actual del sector porcícola de desarrollar técnicas actualizadas de producción altamente tecnificadas, esto implica que las empresas deben tener una mejor capacitación y que es necesario el uso de mejor tecnología para la gestión eficientes de las empresas, con respecto con la administración del proceso, la determinación de tamaño óptimo de animales dentro de las empresas y la mejora de las actividades de distribución, etc. Además, actualmente el sector agroalimentario enfrente diversos retos debido al efecto de la pandemia, el aumento de costos de materias primas provocado por los problemas inflacionarios y el conflicto en ucrania ha sumado a un contexto operativo que afecta a las cadenas de suministro mundiales. En este contexto, se propone utilizar una red de Petri estocástica para modelar y analizar el desempeño de una empresa productora de carne de cerdo a fin de desarrollar un modelo de gestión para la toma eficiente de decisiones.

Definiciones y conceptos

a) Red de Petri Estocástica

En el contexto actual de alta incertidumbre, surge la ventaja de utilizar las redes de Petri estocásticas, las cuales son aquellas redes donde el retraso de tiempo para cada transición se asume como aleatorio y exponencialmente distribuido (Stochastic Petri Net, SPN). Los modelos SPN que tienen transiciones inmediatas, por ejemplo, con retrasos de tiempo de cero, se llaman redes de Petri estocásticas generalizadas. Ambos modelos, incluyendo extensiones tales como transiciones prioritarias, arcos inhibidores, y arcos probabilísticos pueden ser convertidos en su equivalente cadena de Markov. Así que su análisis puede ser conducido al resolver un conjunto de ecuaciones matemáticas.

En general una red de Petri estocástica está definida por $(P, T, I, O, m_0, \lambda)$, donde $\lambda = T \rightarrow R^+$ es la función de disparo que asocia tasas de disparos positivo a todas las transiciones. Normalmente, se utiliza λ_i para denotar la tasa de disparo de t_i . Cabe hacer notar que cada tasa de disparo de la transición puede ser de marcaje dependiente. Adicionalmente, el modelo desarrollado en la presente investigación, se basa en el siguiente teorema propuesto por Mohillo (1982):

TEOREMA: Cualquier lugar finito con transiciones finitas, el marcaje de la red de Petri estocástica es isomorfa (similar) a un proceso markoviano de un espacio discreto de una dimensión. Una red de Petri estocástica es isomorfa a un proceso Markoviano finito o cadena de Markov, Zhou & Venkatesh (1999).

Generalmente, un proceso de Markov de una dimensión solo tiene una variable aleatoria. En una red de Petri estocástica equivalente a un proceso markoviano, el tiempo es la única variable aleatoria.

b) Cadena de Markov

Este concepto se refiere a un conjunto de variables aleatorias $\{X_t\}$, el cual puede representar algún indicador de interés observado a través del tiempo. A menudo T considera al conjunto de números enteros no negativos t . El uso de los procesos estocásticos es de bastante interés en el área de modelación y análisis de los indicadores clave de las empresas para analizar el desempeño de un sistema en cierto periodo de tiempo. Se dice que un proceso estocástico puede clasificarse como una cadena de Markov si este refleja la propiedad markoviana, esto es si dicho proceso cumple la siguiente condición:

$P\{X_{t+1} = j | X_0 = k_0, X_1 = k_1, \dots, X_{t-1} = k_{t-1}, X_t = i\} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$ para toda $t = 0, 1, \dots$ y toda sucesión $i, j, k_0, k_1, \dots, k_{t-1}$.

En palabras esta propiedad implica que la probabilidad condicional de algún evento futuro considerando los eventos pasados y el estado actual, no depende del pasado, solo es necesario conocer el estado actual del sistema.

Revisión de la literatura

En un entorno cada vez más competitivo, las empresas deben innovar y administrar adecuadamente los sistemas de producción para satisfacer a su mercado. A fin de reducir los desperdicios, adaptarse de una mejor manera a las necesidades de los clientes y permanecer competitivos, las empresas necesitan gestionar de manera conjunta e integral sus estrategias de producción, mantenimiento y calidad. En este contexto, existen diversos estudios que se han enfocado en dicha integración, por ejemplo en el artículo de Ait-El-Cadi et al. (2021) se desarrolló un modelo integral que ayuda a determinar la tasa de producción y la frecuencia de mantenimiento además de definir el tamaño de muestra a inspeccionar. En su modelo la estrategia de inspección se basa en un plan de muestreo dinámico, el cual ajusta el tamaño de muestra en base en la degradación del sistema. En el artículo de Rivera-Gómez et al. (2021) se estudió la integración de las estrategias de producción, inspección y mantenimiento de un sistema de producción sujeto a deterioro, el cual tiene un doble efecto en la confiabilidad y la calidad. En su modelo consideraron un mantenimiento mayor para mitigar los efectos del deterioro y el empleo de inspección dinámica para satisfacer la restricción de calidad que requieren los clientes. El modelo Rivera-Gómez et al. (2022) se enfocó en el análisis de la coordinación de las estrategias de producción, subcontratación y mantenimiento para un sistema con deterioro de la calidad e incertidumbre en la subcontratación. Más recientemente, Sahabi Abubakar et al. (2023) propusieron un sistema combinado con múltiples productos conectados a un almacén para satisfacer la demanda cambiante de los clientes. El control de la calidad del proceso es desarrollado mediante un control estadístico de procesos multi nivel. Boumallessa et al. (2023) propusieron un modelo integral para el control de producción, calidad y mantenimiento, donde el sistema está sujeto a deterioro. En este

modelo se establece una relación entre la información de un indicador de calidad y el nivel de degradación del sistema para generar un programa de mantenimiento. Wan, Chen, et al. (2023) investigaron un modelo integral para los conceptos de producción, mantenimiento y control de calidad, en su modelo utilizaron un gráfico de control adaptativo con intervalos de muestreo variable como método para el control de calidad. Mohammad Hadian et al. (2023) contribuyeron al área al presentar un modelo para programar tareas de mantenimiento y control de inventario para un sistema sujeto a deterioro. El propósito de su modelo fue el integrar las decisiones de determinación del stock de seguridad y programación del mantenimiento. Wan, Zhu, et al. (2023) estudiaron un enfoque conjunto de producción, mantenimiento y control estadístico de procesos para un sistema con múltiples causas asignables de calidad. En su artículo realizaron una comparación entre los modelos de una causa con modelos de múltiples causas para resaltar las ventajas de su modelo. Como puede observarse en los trabajos presentados en este párrafo, existen diversas técnicas que han sido utilizados con éxito para analizar los sistemas de producción, por lo que abre la puerta para analizar de una forma más rigurosa a los sistemas de producción del sector agroalimentario.

En la actualidad la toma de decisiones en el sector agroalimentario es más difícil que en el pasado debido a la intensificación de la producción, el incremento de la competitividad y la reducción de los márgenes de utilidad. En este contexto, se observa una necesidad creciente de modelos para la toma de decisiones puesto que su uso se ha convertido en un punto esencial para el éxito económico del sector. Por ejemplo en el artículo de Plà et al. (2003) desarrollaron un modelo markoviano de decisión para representar el ciclo productivo y reproductivo de una empresa agroalimentaria de cerdos. Su modelo describe con precisión la estructura de los animales considerando datos reales de la empresa. En el artículo de Cornou & Kristensen (2013) se revisó el uso de la información mediante un sistema de monitoreo para los animales, propusieron un sistema de administración de la información y de soporte a la toma de decisiones. Su propuesta se basa en el hecho de que, considerando los avances de la tecnología, nuevos datos pueden ser recolectados automáticamente de los procesos, por lo que estos datos deben utilizarse para la toma de decisiones. En el trabajo de Nadal-Roig et al. (2019), se propone un modelo de planeación de la producción para una empresa productora de carne de cerdo mediante

un modelo de programación lineal mixto de múltiples periodos. El modelo ayuda al administrador para la toma de decisiones al proveer de un panorama general del proceso a través del tiempo. En el artículo de Rodríguez-Sánchez et al. (2019), se analizan las decisiones de una empresa productora de carne de cerdo mediante un modelo de optimización lineal mixto. De su modelo se aprecia que la programación de alimentación, el sistema de precios, la transportación y la homogeneidad del lote tienen un impacto considerable en la estrategia de mercado. Zhou & Bohrer (2019) utilizaron una simulación de un modelo de mercado con el objetivo de investigar la variabilidad económica asociada a las estrategias de mercado. Su modelo considero el peso en canal del animal como una predicción de la pérdida de peso del cerdo. Davoudkhani et al. (2020) utilizaron un modelo bioeconómico individual que simula el crecimiento de cada cerdo considerando varias características biológicas en función de diferentes estrategias de alimentación. Su modelo de optimización lo resuelven mediante un algoritmo evolutivo. Satir & Yıldırım (2020) propusieron un modelo de optimización lineal para facilitar la toma de decisiones de producción y planeación financiera de una empresa productora de carne de ave. En su modelo incorporaron todas las divisiones en una compleja integración de las actividades de alimentación, incubación, producción y distribución de carne de ave. Pourmoayed & Relund Nielsen (2022) formularon un proceso de decisión markoviano jerárquico con dos niveles el cual modela decisiones de mercado considerando fluctuaciones en el precio del cerdo. El estado del sistema está basado en la información de los precios de alimentación, y la información es actualizada utilizando un enfoque bayesiano.

Actualmente, los sistemas de producción son altamente complejos y en su mayoría son muy costosos de construir y mantener. Entre los métodos utilizados para analizar los sistemas de producción, las redes de Petri son una opción prometedora, pues representan de una forma natural las interacciones entre las partes o actividades en un sistema. Además de que es posible modelar situaciones típicas como la sincronización, secuencias, concurrencias y conflictos. Por ejemplo, en el artículo de Coman & Ionescu (2013), se utilizó un red de Petri estocástica para analizar el desempeño de un sistema productivo, considerando la tasa de utilización de máquinas, detección de bloqueos, tiempos de ciclo y rendimientos a fin de obtener la productividad óptima. Con su modelo

validaron la topología de la red, la evolución de sus dinámicas, además de la estructura y las propiedades de estabilidad. Li et al. (2012) utilizaron una red de Petri estocástica para localizar los cuellos de botella de servicio de un sistema productivo, también estudiaron la capacidad para producir diferentes productos y la productividad promedio de celdas reconfigurables de manufactura. Xu et al. (2014) presentaron un análisis de la eficiencia de un modelo de red de Petri para una unidad de manufactura, simularon diferentes unidades analizando su desempeño. Compararon sus resultados de simulación con cálculos de una cadena de Markov con la misma estructura. Bortolini et al. (2016) utilizaron la minería de datos para construir una red de Petri de una unidad de producción con buffers, filas, procesos, etc. Su modelo permitió la predicción de índices del desempeño del proceso. Simon et al. (2018) investigaron la viabilidad de utilizar la simulación de eventos discretos para modelar redes de Petri en un contexto de una unidad productiva. Propusieron un enfoque para modelar diferentes clases de redes de Petri con la simulación de eventos discretos. Cao et al. (2019) propusieron una red de Petri estocástica híbrida para modelar sistemas híbridos con características discretas, continuas, conflictos, demoras y características estocásticas simultáneas. Su modelo supera los modelos convencionales en términos de describir la escalabilidad e inmediatez de los sistemas híbridos. Wang et al. (2019) desarrollaron un modelo para una unidad flexible de producción utilizando una red de Petri para integrar el problema de distribución de planta y planeación de la producción. Su modelo se basa en un enfoque de optimización en serie el cual combina el algoritmo del grapo de alcanzabilidad y un algoritmo de búsqueda. Hu et al. (2021) estudiaron una red de Petri estocástica para modelar un sistema cyber-físico, compuesto de múltiples componentes de cómputo, comunicación y funciones de control. Dicho sistema es modelado considerando diversos tipos de objetos y su estructura lógica es representada visualmente. Para simplificar el proceso de análisis, propusieron un algoritmo que utilizara matemáticas difusas para procesar la red de Petri.

24

El presente capítulo está estructurado de la siguiente manera, en la sección 2 se presenta la metodología empleada en la investigación, en la sección 3 se presentan los resultados obtenidos de una instancia real de una empresa productora de carne de cerdo. En la

sección 4 se discuten los resultados del caso práctico. Finalmente, el capítulo se concluye en la sección 5.

2 Metodología

En este trabajo se contemplan los estados y condiciones más representativas del proceso productivo de la carne de cerdo. Se tomó como base el diagrama de flujo modelo de una empresa PYME dedicada a la producción carne de cerdo propuesto por la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER en el Manual de buenas prácticas de producción de Pinelli-Saavedra (2004). Dicho diagrama se presenta en la Figura 1.

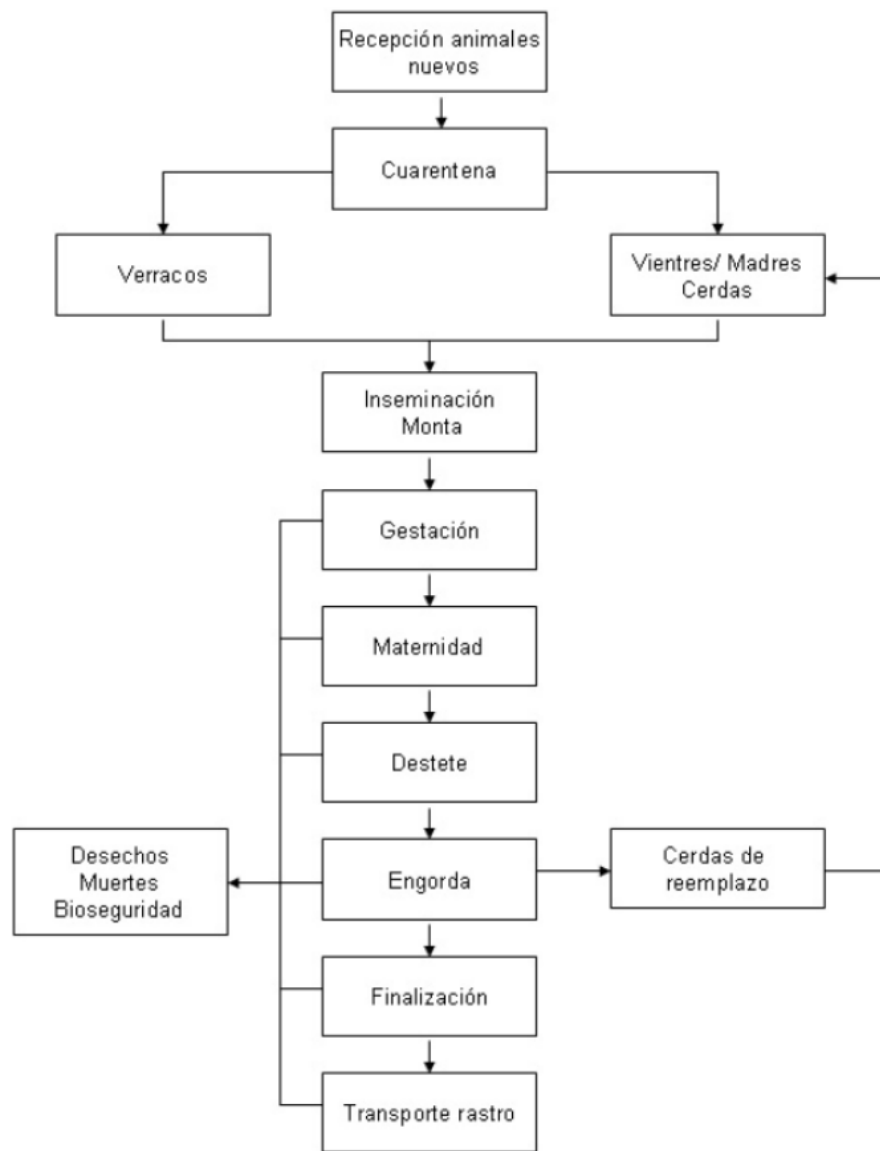
Bajo el supuesto de que el comportamiento del ciclo reproductivo de las cerdas de la empresa productora puede ser modelado por medio de una cadena de Markov ergódica, lo cual implica que la totalidad de los estados sean recurrentes, no nulos y aperiódicos. Para el modelado del proceso productivo se utilizan como políticas de gestión, las de conservar a las cerdas en la empresa, o bien, retirarlas del proceso, si estos animales no son rentables. Con respecto a las probabilidades de transición consideradas en la formulación, estas son definidas con base a datos reportados en cierto periodo de tiempo. Para cada transición, las probabilidades de máxima verosimilitud se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$p(j/i, a) = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (1)$$

Donde n_{ij} es el número de animales que realizan la transición del estado i al estado j , cuando se decide por tomar la acción a y $n_i = \sum_{k \in S} n_{ik}$ representa la cantidad total de animales que han realizado la transición al estado i en el periodo de tiempo analizado. Las acciones consideradas son aquellas relacionadas a mantener las cerdas. La acción de reemplazar significa que una cerda es trasladada al estado cero con probabilidad uno.

Figura 1

Diagrama de flujo del sistema analizado



Fuente: Pinelli-Saavedra (2004).

2 El diagrama de flujo de la Figura 1, representa un ciclo productivo real. Con la finalidad de mantener un número de estados manejable en la formulación, en el modelo desarrollado se consideran los estados del proceso descritos en Plà et al. (2003):

- 1) Cubrición (en esta etapa se considera la actividad de inseminación y/o monta)

- 2) Gestación
- 3) Lactación (en esta etapa se considera la actividad de maternidad y destete)
- 4) Aborto (en esta etapa se consideran los desechos y la bioseguridad)
- 5) Muerte

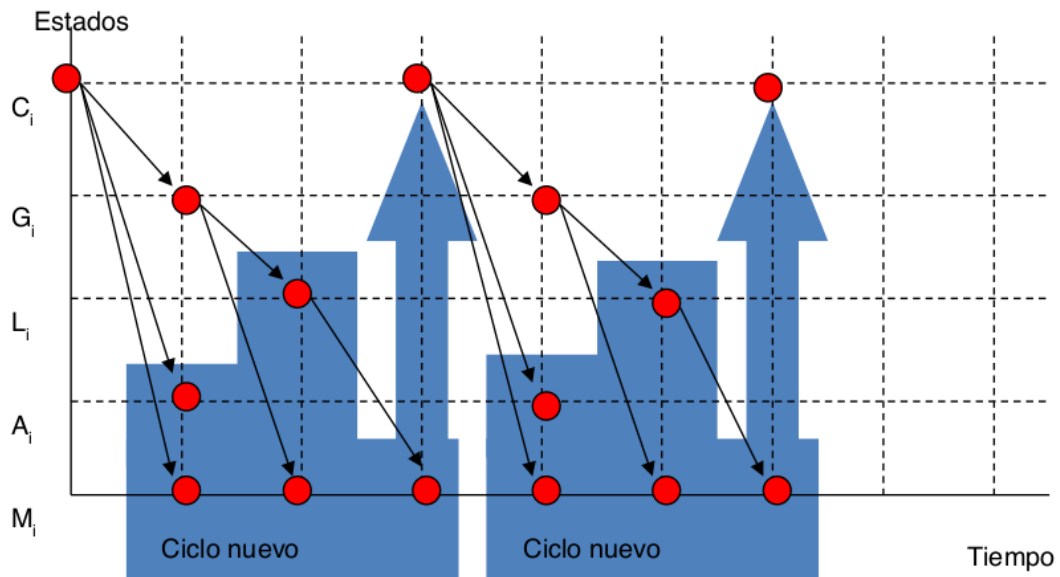
Estos cinco estados, representan el ciclo de vida natural de los animales. De manera general se observa que cada ciclo considerado está conformado por cinco etapas. Es una práctica común de los productores el considerar solamente ocho ciclos productivos como máximo dentro de la empresa. Esto implica que una cerda puede tener como máximo ocho camadas. Después de este límite los animales son inmediatamente remplazados por un animal nuevo. De esta forma la cadena de Markov desarrollada considera un total de 40 estados. Las variables utilizadas para definir a los estados de cada ciclo se enlistan a continuación:

- C_i cubrición en el i – ciclo
- G_i gestación en el i – ciclo
- L_i lactación en el i – ciclo
- A_i aborto en el i – ciclo
- M_i muerte en el i – ciclo

Para el conjunto de estados y transiciones definidos en la cadena de Markov, se establecen diversas consideraciones posibles dentro de la empresa, por ejemplo, si un animal aborta se reemplaza inmediatamente. El reemplazo se considera inmediato, por ende los animales que se eliminan de la empresa se cambian por otros los cuales inician en el estado 0 en la cubrición del primer ciclo C_1 . El diagrama de transición para los estados de los ocho ciclos productivos se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de transición de estados



Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

La cadena de Markov del proceso productivo se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Matriz de transición de la cadena de Markov

	C_1	G_1	L_1	A_1	M_1	C_2	G_2	L_2	A_2	M_2	C_3	G_3	L_3	A_3	M_3
C_1	0	0.9	0	0.02	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G_1	0	0	0.92	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_1	0.12	0	0	0	0.08	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.02	0.08	0	0	0	0	0
G_2	0	0	0	0	0	0	0	0.92	0	0.08	0	0	0	0	0
L_2	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.85	0	0	0	0
A_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.02	0.08
G_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.92	0	0.08
L_3	0.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
A_3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

La metodología empleada en este trabajo está conformada por las siguientes actividades:

1. Modelación del proceso productivo mediante una cadena de Markov
2. Determinación de una red de Petri estocástica isomorfa a la cadena de Markov del paso anterior
3. Análisis de la red de Petri estocástica, RdP:
 - a. Análisis de las características de la RdP
 - b. Determinación de la matriz de incidencias
 - c. Generación del grafo de alcanzabilidad $R(m_0)$
 - d. Determinación del listado de marcajes
4. Análisis del proceso markoviano
 - a. Determinación de las probabilidades de transición estado estable
 - b. Cálculo del costo promedio esperado a largo plazo por unidad de tiempo
 - c. Determinación de la utilidad promedio esperada para la empresa

Resultados

Con las probabilidades de transición presentados en la matriz de transición de la Figura 3, es posible desarrollar la red de Petri estocástica isomorfa a la cadena de Markov del proceso productivo. En este caso se utilizó el software Petri Net Tool, el cual funciona en la plataforma de Matlab y permite simular redes de Petri estocásticas. La red de Petri generada se presenta en la Figura 4, observe como esta red es similar al diagrama de transición de estados presentado previamente en la Figura 2. En este caso fueron necesarios los siguientes 15 lugares y 29 transiciones para la construcción de la red de Petri y se utilizó solo una marca en el lugar C_1 .

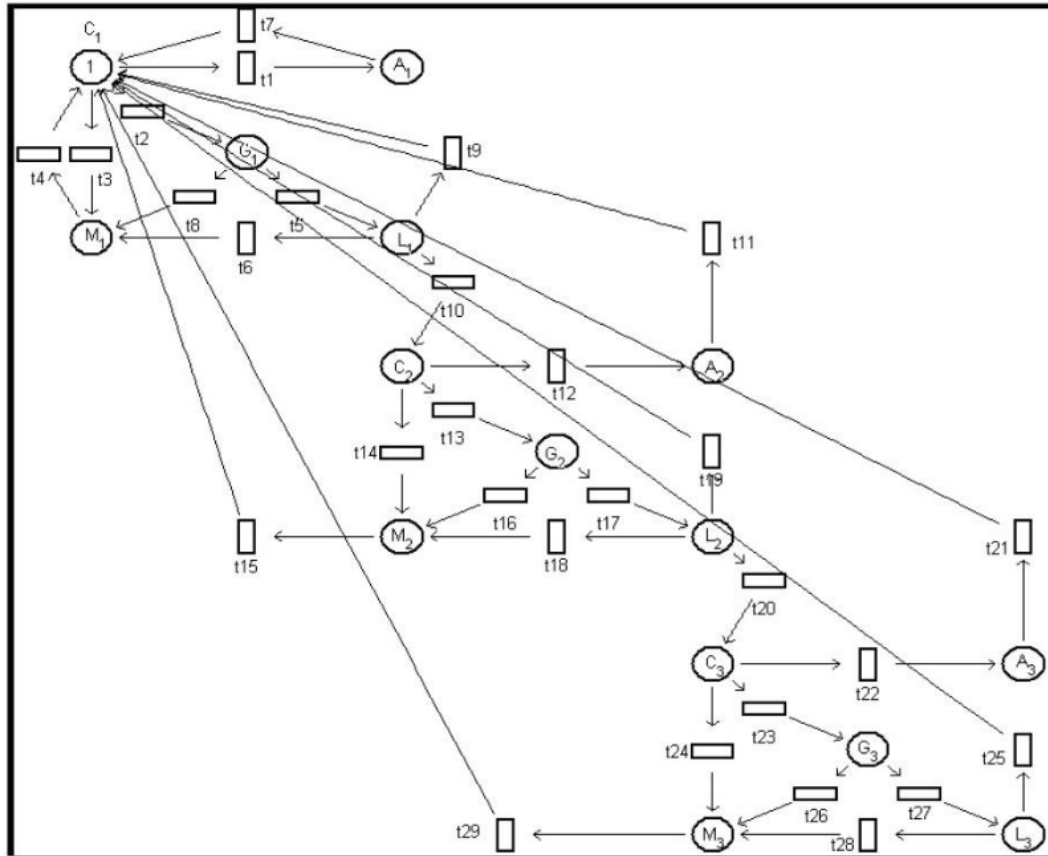
Estructura: (P, T, I, O, m_0, A)

Lugares: $P = \{C_1, G_1, L_1, A_1, M_1, C_2, G_2, L_2, A_2, M_2, C_3, G_3, L_3, A_3, M_3\}$

Transiciones: $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20}, t_{21}, t_{22}, t_{23}, t_{24}, t_{25}, t_{26}, t_{27}, t_{28}, t_{29}\}$

Figura 4

Red de Petri Estocástica del proceso productivo



Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

2 Al analizar detalladamente la red de Petri estocástica generada, se encontró que esta RdP cuenta con las siguientes características:

- Vivacidad
- Conservativa
- Repetitiva
- Limitada

Estas propiedades implican que las transiciones t_i de la RdP siempre disparan y que pueden disparar indefinidamente, y además que por cada entero positivo k la transición

t_i dispara al menos k veces. Adicionalmente, dado que el grafo de alcanzabilidad presentado en la Figura 6 es finito, se puede decir que la RdP es limitada. Estas características son importantes porque reafirman que la cadena de Markov isomorfa a la RdP de la Figura 4 es ergódica, donde este punto es una propiedad y un requisito importante que debe de cumplir la cadena de Markov del problema para poder desarrollar un proceso markoviano de decisión. La matriz de incidencia de la RdP es la siguiente:

Figura 5

Matriz de incidencia de la RdP

$$\begin{pmatrix}
 C_1 & A_1 & G_1 & M_1 & L_1 & C_2 & A_2 & G_2 & M_2 & L_2 & C_3 & A_3 & G_3 & M_3 & L_3 \\
 -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1
 \end{pmatrix}$$

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

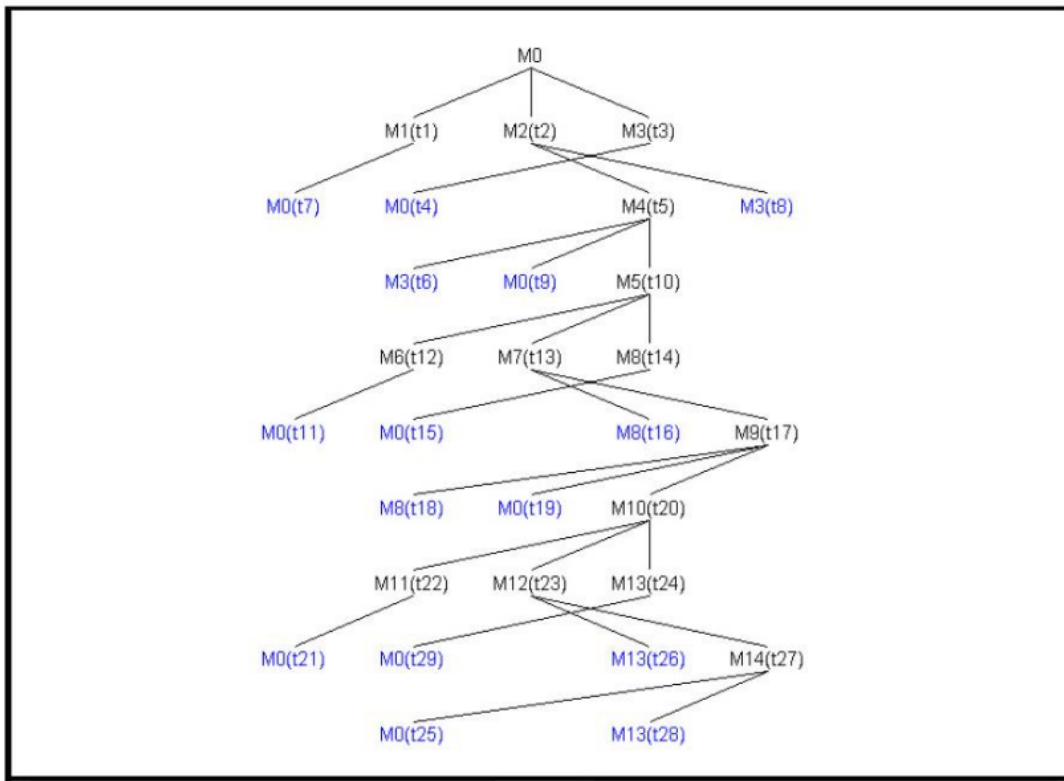
Por las características de la red de Petri estocástica del problema, solo se obtuvieron 15 diferentes marcajes. Al considerar solamente tres ciclos del proceso productivo, el marcaje de la RdP está determinado por el siguiente vector:

$$M_i = [C_1, A_1, G_1, M_1, L_1, C_2, A_2, G_2, M_2, L_2, C_3, A_3, G_3, M_3, L_3]$$

La relación completa de los marcajes de la RdP se presenta en el grafo de alcanzabilidad de la Figura 6:

Figura 6

Grafo de alcanzabilidad de la RdP



Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

Al utilizar el software PNT00L fue posible determinar los arribos a 15 estados que conforman la RdP, donde la lista de marcajes de estos estados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Conjunto de marcajes del RdP

Estado S_i	Marcaje M_i	Estado S_i	Marcaje M_i
S_0	[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_8	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0]
S_1	[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_9	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0]
S_2	[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_{10}	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0]
S_3	[0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_{11}	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0]
S_4	[0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_{12}	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0]
S_5	[0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_{13}	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0]
S_6	[0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0]	S_{14}	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]
S_7	[0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0]		

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

En este caso numérico se realizaron dos corridas con 1000 y 10,000 eventos, estos arribos se compararon con las probabilidades estado estable de la cadena de Markov, donde dichas probabilidades se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\pi_j = \sum_{i=0}^M \pi_i P_{ij} \quad \forall j = 0, 1, \dots, M$$

$$\sum_{j=0}^M \pi_j = 1 \quad (2)$$

Los valores de π_j denotan la probabilidad de encontrar al proceso en cierto estado j después de un tiempo considerable, cabe destacar que los resultados de la RdP tienden a estas probabilidades π_j después de un número considerable de transiciones y estos resultados son independientes de la distribución de probabilidad inicial definida por los estados. La Tabla 2 presenta las probabilidades de transición en estado estable del proceso productivo obtenidos de la simulación de la RdP para diferente número de

eventos simulados, además también la Tabla 2 reporta las probabilidades estado estable obtenidas de manera analítica, a partir de la cadena de Markov utilizando las ecuaciones (2). Como puede observarse en la Tabla 2, los resultados de la simulación de la RdP y los resultados analíticos de las ecuaciones (2) son muy similares, lo que denota la eficiencia del enfoque propuesto de modelación utilizando la RdP.

Tabla 2

Probabilidades de transición estado estable

Lugares	Porcentaje de arribos al lugar i , con 1000 eventos de la RdP	Porcentaje de arribos al lugar i , con 10000 eventos de la RdP	Probabilidades estado estable de la cadena de Markov π_j
C_1	0.159	0.1584	0.1584
A_1	0.004	0.0032	0.0032
G_1	0.144	0.1426	0.1425
M_1	0.035	0.0346	0.0346
L_1	0.132	0.1312	0.1311
C_2	0.105	0.1049	0.1049
A_2	0.003	0.0021	0.0021
G_2	0.094	0.0944	0.0944
M_2	0.023	0.023	0.0229
L_2	0.086	0.0868	0.0869
C_3	0.073	0.0737	0.0738
A_3	0.002	0.0015	0.0015
G_3	0.064	0.0662	0.0665
M_3	0.012	0.0112	0.0161
L_3	0.064	0.0662	0.0611

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

En los resultados de la Tabla 3, se presenta el porcentaje de tiempo que el sistema estará en promedio por ciclo productivo, en este caso se sumó la probabilidad estado estable de cada uno de los 5 estados que conforman cada ciclo productivo. Se reportan los resultados para los tres ciclos productivos considerados en la simulación.

Tabla 3

Porcentaje de tiempo que el sistema estará en el Ciclo- i

Lugares	Porcentaje de arribos al lugar i, con 1000 eventos de la RdP	Porcentaje de arribos al lugar i, con 10000 eventos de la RdP	Probabilidades estado estable de la cadena de Markov
<i>Ciclo-1</i>	0.4740	0.4700	0.4680
<i>Ciclo-2</i>	0.3110	0.3112	0.3112
<i>Ciclo-3</i>	0.2150	0.2188	0.2190

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

Para la determinación del costo promedio esperado asociado a la cadena de Markov del proceso productivo, se consideran los cálculos para el largo plazo con respecto a la unidad de tiempo, donde se utilizó la siguiente ecuación:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \varphi(X_t) \right] = \sum_{j=0}^M \pi_j \varphi(j) \quad (3)$$

Los valores de la Tabla 4 presentan los costos e ingresos asociados a los 15 lugares de la red de Petri, donde las cantidades negativas implican un costo y las cantidades positivas denotan los ingresos del estado. La forma de definir estas cantidades fue el considerar los diversos gastos e ingresos generados por la alimentación de los animales, gastos financieros, costo de los medicamentos, costos fijos, venta de animales, etc.

Tabla 4

Relación de costos e ingresos del proceso productivo

Lugares	<i>Ciclo-1</i>	<i>Ciclo-2</i>	<i>Ciclo-3</i>
<i>Cubrición</i>	-207.48	-207.48	-207.48
<i>Aborto</i>	-8.68	-8.68	-8.68
<i>Gestación</i>	-999.20	-999.20	-999.20
<i>Muerte</i>	-8.68	-8.68	-8.68
<i>Lactación</i>	3702.72	4206.72	4290.72

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

Al aplicar la ecuación (3) a los datos de la Tabla 2 se obtiene el costo promedio esperado de mantener los cerdos dentro de la empresa durante tres ciclos, cabe hacer notar que

el sistema productivo reporta en este caso una utilidad, la cual considerado una simulación de 10,000 eventos es de \$761.75.

Tabla 5

Utilidad promedio esperada del proceso productivo

	Utilidad promedio esperada con 1000 eventos	Utilidad promedio esperada con 10000 eventos	Utilidad promedio esperada a largo plazo
Utilidad por animal	\$753.08	\$761.75	\$739.66

Fuente: elaboración propia con base en el modelo propuesto.

2 Es interesante observar como el costo promedio esperado a largo plazo, en este caso la utilidad de la empresa obtenida analíticamente a partir de las ecuaciones que definen a la cadena de Markov, 2 baja considerablemente a \$739.66, esto se debe porque con las corridas de 1000 y 10,000 eventos, los porcentajes de arribos a los lugares de la red de Petri aún no están en condiciones estado estable, lo que conlleva a que se tengan variaciones en esta cifra con los dos métodos utilizados, la simulación con la RdP y analíticamente con las ecuaciones (2) y (3).

Discusión

El análisis de los resultados de la Tabla 2 a la Tabla 5 son de gran interés en la planeación de la producción de una empresa dedicada a la producción de carne porcina, 2 puesto que estos datos son de utilidad para definir adecuadamente la distribución en planta de la empresa y también para tener suficiente información para administrar adecuadamente la empresa. De la Tabla 3 podemos observar que cerca del 80% de los cerdos de la empresa estarán en los dos primeros ciclos productivos, mientras que, en el tercer ciclo, menos del 22% de la totalidad de los cerdos llegará a producir en el tercer ciclo. Con esta información se puede tener datos que permitan prever y gestionar acciones futuras. En cuanto al costo promedio esperado con la cadena de Markov se espera que en estado estable se tenga una utilidad de alrededor \$739.66 por animal en la granja. La red de Petri desarrollada presenta las siguientes características de vivacidad, conservativa, repetitividad y limitada, lo cual confirman la ergodicidad de la cadena de Markov. En base

a los resultados obtenidos, se puede afirmar que la red de Petri desarrollada es isoforma, en otras palabras, es similar a una cadena de Markov formada por una clase única aperiódica e irreducible, puesto que sus quince estados comunican entre sí, además no se encuentra en la cadena ningún estado absorbente de hecho, todos los estados son recurrentes, lo que implica que la cadena sea ergódica. Esta propiedad de ergodicidad permite el desarrollo de modelos de toma de decisiones más sofisticados como los procesos markovianos de decisión.

Conclusión

Este estudio representa un avance significativo en la modelación y análisis del ciclo productivo en la industria porcina. Mediante la aplicación de una red de Petri estocástica, se logró una representación detallada y estructurada del proceso, permitiendo un análisis exhaustivo de su dinámica temporal. Los resultados obtenidos han demostrado que esta metodología es altamente efectiva para capturar las complejas interacciones y flujos de trabajo inherentes al ciclo productivo de la pira. La red de Petri desarrollada ha exhibido propiedades fundamentales, como vivacidad, conservatividad, repetitividad y limitación, que son indicativas de la ergodicidad de la cadena de Markov asociada. Esta característica es esencial, ya que garantiza que el sistema experimente transiciones sucesivas a través de sus estados con cierta regularidad, lo que facilita un análisis preciso y confiable de su comportamiento a largo plazo. La validación de los resultados de la simulación de la red de Petri con los resultados analíticos derivados de la cadena de Markov ha fortalecido la confianza en el enfoque propuesto. Esta consistencia entre los enfoques de modelización sugiere que la red de Petri es una representación fiel del sistema real, lo que respalda su utilidad para simular y analizar sistemas complejos como el ciclo productivo de una empresa porcícola.

La aplicación práctica de esta metodología ofrece numerosos beneficios para los administradores y tomadores de decisiones en el sector porcícola. Proporciona una visión clara y detallada del proceso productivo, permitiendo la identificación de cuellos de botella, puntos de mejora y áreas de oportunidad para aumentar la eficiencia y la rentabilidad de la empresa. Además, permite la evaluación de escenarios alternativos y la planificación estratégica basada en datos sólidos y análisis rigurosos. En resumen,

este estudio ha demostrado que la modelación mediante redes de Petri es una herramienta poderosa y versátil para entender y optimizar el ciclo productivo en la industria porcina. Su aplicación puede conducir a mejoras significativas en la gestión de la cadena de suministro, la planificación de la producción y la toma de decisiones estratégicas, contribuyendo así al crecimiento y la sostenibilidad del sector.

Referencias

- Ait-El-Cadi, A., Gharbi, A., Dhouib, K., & Artiba, A. (2021). Integrated production, maintenance and quality control policy for unreliable manufacturing systems under dynamic inspection. *International Journal of Production Economics*, 236, 108140. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108140>
- Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., Manzini, R., & Pilati, F. (2016). Stochastic timed Petri nets to dynamically design and simulate industrial production processes. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 25(1), 20. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2016.078490>
- Boumallessa, Z., Chouikhi, H., Elleuch, M., & Bentaher, H. (2023). Modeling and optimizing the maintenance schedule using dynamic quality and machine condition monitors in an unreliable single production system. *Reliability Engineering & System Safety*, 235, 109216. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109216>
- Cao, R., Hao, L., Wang, F., & Gao, Q. (2019). Modelling and analysis of hybrid stochastic timed Petri net. *Journal of Control and Decision*, 6(2), 90-110. <https://doi.org/10.1080/23307706.2017.1419079>
- Coman, D., & Ionescu, A. (2013). Simulation and Performance Analysis of a FMS/CIM Using Stochastic Timed Petri Nets. *Advanced Materials Research*, 837, 322-327. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.837.322>

- Cornou, C., & Kristensen, A. R. (2013). Use of information from monitoring and decision support systems in pig production: Collection, applications and expected benefits. *Livestock Science*, 157(2-3), 552-567. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.07.016>
- Davoudkhani, M., Mahé, F., Dourmad, J. Y., Gohin, A., Darrigrand, E., & Garcia-Launay, F. (2020). Economic optimization of feeding and shipping strategies in pig-fattening using an individual-based model. *Agricultural Systems*, 184, 102899. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102899>
- Hu, H., Yu, J., Li, Z., Chen, J., & Hu, H. (2021). Modeling and Analysis of Cyber–Physical System Based on Object-Oriented Generalized Stochastic Petri Net. *IEEE Transactions on Reliability*, 70(3), 1271-1285. <https://doi.org/10.1109/TR.2020.2998091>
- Li, G. Q., Mitrouchev, P., Wang, Y., Brissaud, D., & Lu, L. X. (2012). Evaluation of the logistic model of the reconfigurable manufacturing system based on generalised stochastic Petri nets. *International Journal of Production Research*, 50(22), 6249-6258. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.616235>
- Mohammad Hadian, S., Farughi, H., & Rasay, H. (2023). Development of a simulation-based optimization approach to integrate the decisions of maintenance planning and safety stock determination in deteriorating manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109132. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109132>
- Nadal-Roig, E., Plà-Aragonès, L. M., & Alonso-Ayuso, A. (2019). Production planning of supply chains in the pig industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.042>
- Pinelli-Saavedra, A., Acevedo-Félix, E., Hernández-López, J., Belmar, R. (2004). *Manual de buenas prácticas de producción en granjas porcícolas*. Servicio Nacional de

Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA. Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CIAD A.C.

Plà, L. M., Pomar, C., & Pomar, J. (2003). A Markov decision sow model representing the productive lifespan of herd sows. *Agricultural Systems*, 76(1), 253-272. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00102-6)

Pourmoayed, R., & Relund Nielsen, L. (2022). Optimizing pig marketing decisions under price fluctuations. *Annals of Operations Research*, 314(2), 617-644. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03646-0>

Rivera-Gómez, H., Gharbi, A., Kenné, J.-P., Ortiz-Zarco, R., & Corona-Armenta, J. R. (2021). Joint production, inspection and maintenance control policies for deteriorating system under quality constraint. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 585-607. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.018>

Rivera-Gómez, H., Medina-Marin, J., Santana-Robles, F., Montaña-Arango, O., Barragán-Vite, I., & Cisneros-Flores, G. (2022). Impact of Unreliable Subcontracting on Production and Maintenance Planning Considering Quality Decline. *Applied Sciences*, 12(7), 3379. <https://doi.org/10.3390/app12073379>

Rodríguez-Sanchez, S. V., Pla-Aragones, L. M., & De Castro, R. (2019). Insights to optimise marketing decisions on pig-grower farms. *Animal Production Science*, 59(6), 1126. <https://doi.org/10.1071/AN17360>

Sahabi Abubakar, A., Hajej, Z., & C. Nyongue, A. (2023). Multi-Product Production Optimization of Maintenance Integrated into the Control Chart Under Service Level and Quality Constraints. *International Journal of Operations Management*, 3(2), 7-21. <https://doi.org/10.18775/ijom.2757-0509.2020.32.4001>

- Satir, B., & Yildirim, G. (2020). A General Production and Financial Planning Model: Case of a Poultry Integration. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(8), 6803-6820. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04366-0>
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA (2022). *Panorama actual de la carne de porcino en canal en México*. https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/PanoramadelacarnedeporcinoencanalenM%C3%A9xico_39a380c5-55d8-4afd-a943-89280a464c13.pdf
- Simon, E., Oyekan, J., Hutabarat, W., Tiwari, A., & Turner, C. J. (2018). Adapting Petri Nets to DES: Stochastic Modelling of Manufacturing Systems. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(1), 5-17. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)403](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)403)
- Wan, Q., Chen, L., & Zhu, M. (2023). A reliability-oriented integration model of production control, adaptive quality control policy and maintenance planning for continuous flow processes. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108985. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.108985>
- Wan, Q., Zhu, M., & Qiao, H. (2023). A joint design of production, maintenance planning and quality control for continuous flow processes with multiple assignable causes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 43, 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.04.006>
- Wang, W., Hu, Y., Xiao, X., & Guan, Y. (2019). Joint optimization of dynamic facility layout and production planning based on Petri Net. *Procedia CIRP*, 81, 1207-1212. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.293>
- Xu, X. J., Xing, H. F., & Wang, S. G. (2014). Research on Stochastic Manufacturing Unit Performance Analysis Based on Simulation of Petri Net. *Applied Mechanics and*

Materials, 556-562, 6414-6418.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.556-562.6414>

Zhou, Z. Y., & Bohrer, B. M. (2019). Defining pig sort loss with a simulation of various marketing options of pigs with the assumption that marketing cuts improve variation in carcass weight and leanness. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(3), 542-552. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0195>

Zhou, M., & Venkatesh, K. (1999). Modeling, Simulation, and Control of Flexible Manufacturing Systems. Series in Intelligent Control and Intelligent Automation: Volume 6. Word Scientific, 428 p. <https://doi.org/10.1142/3376>

Capítulo IX. Estrategia para la planeación de inventarios para nuevos productos en una red de centros de distribución y soporte mediante Industria 4.0

Santiago Omar Caballero Morales^{*}
Diana Sánchez Partida^{**}
José Luis Martínez Flores^{***}
María del Rosario Sánchez Vega^{****}

Resumen

El intenso cambio de las tendencias del mercado nacional e internacional representa un reto para la distribución eficiente de productos. Esto dada la necesidad de satisfacer en el menor tiempo posible y con las mejores condiciones los requerimientos de este. Si bien las estrategias de abastecimiento y planeación de centros y redes de distribución contribuyen a afrontar dicho reto, la complejidad actual dada por la globalización requiere de estrategias más avanzadas. En este contexto, la digitalización de la cadena de suministro mediante tecnologías de Industria 4.0 representan una oportunidad para productos y servicios de nueva creación que involucran riesgos específicos. En el presente capítulo se presenta una estrategia de integración de servicios tecnológicos para un esquema de centros de distribución colaborativos con el objetivo de reducir los riesgos de abastecimiento para nuevos productos. La validación, realizada mediante un análisis de caso, corroboran la pertinencia de la estrategia y su posible aplicación en diversos ámbitos industriales y de servicios.

^{*} Doctor en Ciencias Computacionales. Profesor-investigador, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9986-7768>

^{**} Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Profesora-investigadora, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5771-1362>

^{***} Doctor en Logística y Dirección de la cadena de Suministro. Profesor-investigador, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2986-469X>

^{****} Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministros. (CARGO O NOMBRAMIENTO INSTITUCIONAL) Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2103-0543>

Palabras clave: *Inventarios, distribución, Industria 4.0*

Introducción

Actualmente hay tres factores que representan un reto para la competitividad de las empresas: la globalización, el rápido desarrollo tecnológico, y el cambio continuo en las demandas de los mercados. Por ello, el disponer de los medios para presentar nuevos e innovadores productos y servicios es una de las principales prioridades para mantener y mejorar la competitividad de las empresas en los mercados regionales y globales (Liao & Marsillac, 2015).

No obstante, esto debe estar en concordancia con conocer las exigencias de los mercados y las nuevas plataformas de distribución para que la entrega y prestación de servicios sea rápida y eficiente. De igual manera, nuevos productos (NPs) y servicios requieren nuevas estructuras de conocimiento táctico para generar ideas y conceptos útiles para lograr su éxito (Park et al., 2015).

En particular, este éxito depende de la colaboración interorganizacional de la cadena de suministro (CS) (Hashiba & Paiva, 2016; Chaudhuri & Boer, 2016). La administración eficiente de la CS es importante para reducir los costos y riesgos de producción, reducir tiempos de lanzamiento, analizar la sostenibilidad del diseño del NP, seleccionar los materiales más adecuados, y maximizar las tasas de servicio al cliente (Khan et al., 2016; Parlings & Klingebiel, 2017).

De igual manera, NPs y la CS se sustentan en: (a) la infraestructura tecnológica que facilite el flujo de información a través de los diferentes procesos, y (b) la distribución física de los bienes requeridos. La investigación en gestión de innovaciones ha enfatizado la importancia de la flexibilidad de la CS para el desarrollo de NPs y servicios (Liao & Marsillac, 2015). En cuanto a distribución, su ejecución ineficiente puede generar diversos impactos negativos como retrasos en las fechas de lanzamiento, pérdida de oportunidad de posicionamiento, costos de redistribución y administración adicional de inventarios. Nótese que la distribución incluye la ubicación de las plantas, los almacenes, los centros de distribución (CEDIS) y las conexiones entre ellos, lo que determina el 80%

del costo de la CS (Watson et al., 2012). Recientemente, conceptos y tecnologías de la 4ª Revolución Industrial, o Industria 4.0, dan soporte a la planeación integrada de la CS para mantener la competitividad de las empresas, incluyendo la infraestructura tecnológica requerida y su integración con el proceso de distribución (Cardoso et al., 2021).

El proceso de gestión y distribución de NPs no se puede abordar de la misma manera que se realiza con productos ya establecidos. Esto se debe a que los NPs tienen un alto grado de incertidumbre en sus demandas, costos y tendencias, lo que conduce a un mayor riesgo de falla. Se estima que aproximadamente el 40% de los NPs fallan en el lanzamiento (incluso después de todo el trabajo de desarrollo y prueba), solo el 10%-15% de los conceptos de NPs son un éxito comercial, y sólo el 13% de las empresas informan que sus NPs logran sus objetivos de ganancias anuales (Cooper, 2017).

Por lo tanto, la CS debe adaptarse a las características y riesgos específicos de los NPs. El presente capítulo contribuye con este objetivo mediante el desarrollo de una estrategia de gestión de CS adecuada para NPs integrada con CEDIS. La estrategia se formula a través de los siguientes pasos:

- en primer lugar, se revisa un modelo de control de inventarios para NPs;
- en segundo lugar, se extiende dicho modelo para integrar los riesgos y costos asociados a la distribución entre CEDIS centrales y CEDIS regionales de NPs;
- en tercer lugar, se considera el concepto de agrupación de inventarios para consolidar los inventarios en los CEDIS centrales en una única ubicación para reducir los riesgos de desabastecimiento en toda la CS;
- cuarto, los aspectos de la Industria 4.0 se consideran vitales para el éxito de esta estrategia, ya que la digitalización a través de la CS puede permitir una comunicación rápida y un flujo eficiente de decisiones de gestión.

Al probar la estrategia propuesta con datos de un estudio de caso, se determinó que la estrategia puede determinar los niveles de inventario adecuados considerando los riesgos de los NPs y las variaciones de su demanda en toda la red de CEDIS. Estos hallazgos se describen en las siguientes secciones: en la Sección X.2 se presentan los

aspectos de los CEDIS y distribución que influyen en los niveles de inventario asociados a NPs; luego, en la Sección X.3 se presentan los riesgos asociados a los NPs; en la Sección X.4 se presenta la metodología para incorporar el modelo de control de inventarios de NPs dentro de la gestión de los CEDIS y el soporte de infraestructura mediante tecnologías de Industria 4.0; la aplicación de la metodología en un estudio de caso se presenta en la Sección X.5; finalmente, las conclusiones se presentan en la Sección X.6.

Gestión de CEDIS: Aspectos para NPs

La CS está relacionada con todas las actividades asociadas al flujo y transformación de bienes y servicios, desde el suministro de materia prima hasta la entrega del producto terminado al cliente final. La administración de la CS integra actividades y flujos de información, mejorando la interacción entre ellos para lograr ventajas competitivas. Por tanto, para aumentar la eficiencia y productividad de la CS un diseño y gestión de red adecuados es la clave para lograr la satisfacción del cliente (Taki et al., 2016).

Dentro de la red de CS, el CEDIS centraliza las operaciones logísticas para el flujo eficiente de productos desde un punto de origen hasta el cliente final (Shu et al., 2013). Debido a que el desempeño de un CEDIS eficiente es necesario y crítico para el éxito comercial a largo plazo, su planificación y ubicación se han considerado estrategias importantes para aumentar el nivel de servicio (Yang et al., 2010).

El desafío de gestionar las redes de distribución es mejorar el nivel de servicio y reducir el costo de gestión de los CEDIS, encontrando un equilibrio entre los costos de transporte, la gestión de inventarios y los gastos operativos. Para esto es necesario tener controles sobre los niveles de inventario en cada CEDIS y sobre su frecuencia de envíos (Kumar & Tiwari, 2013).

Dentro de las estrategias de control, la agrupación de inventarios, o *inventory-pooling*, consiste en la consolidación del inventario a través de los CEDIS en una única ubicación (real o virtual) desde la cual se abastecen las demandas de los CEDIS (Berman & Mahdi-

Tajbakhsh, 2011). Esto puede generar beneficios cuando la variabilidad de la demanda de cada CEDIS es alta (Benjaafar, Cooper y Kim, 2005).

Para el caso específico de NPs, los aspectos de planificación de redes, inventarios y CEDIS pueden diferir de los productos ya establecidos debido a la incertidumbre de los volúmenes, sus tendencias de demanda y los riesgos asociados:

- Por lo general, para productos ya establecidos su demanda es conocida o con bajo nivel de incertidumbre. Por ello, las empresas tienen más flexibilidad para satisfacer su demanda mediante técnicas de control de inventarios y reducir los riesgos de desabasto en concordancia con sus costos operativos, de almacenamiento y de reposición de inventario (Shu et al., 2013; Schmitt et al., 2015). Para los NPs su total disponibilidad en el lugar correcto es crítica para lograr el impacto inicial requerido en el mercado.
- Los niveles de inventario de seguridad se determinan considerando la incertidumbre en la demanda y los tiempos de entrega a los CEDIS (Taki et al., 2016). Si bien hay técnicas para estimar sus niveles óptimos incluso cuando hay información incompleta asociada a la demanda (Edirisinghe & Atkins, 2017), la mayoría no consideran la incertidumbre y riesgos específicos de NPs
- La agrupación de inventarios centralizados y descentralizados se ha determinado como vital para la gestión de la incertidumbre, reducir las interrupciones en el suministro, y mejorar la gestión de la red de distribución (Mak & Shen, 2012). Sin embargo, existen pocos que aborden la gestión de las innovaciones y las características de los NPs.

Como enfoque para compensar las limitantes identificadas, el presente trabajo propone un modelo que determina las cantidades óptimas de inventario (Q_{NP}) a ser enviadas a cada CEDIS dentro de una red de distribución establecida, así como su frecuencia de envío y la estimación de sus niveles de inventario de seguridad (SS_{NP}). Estos parámetros pueden alimentar un sistema de planificación de requisitos de distribución (DRP) en un ambiente de Industria 4.0.

Riesgos en el Abastecimiento de Inventarios para NPs

Los riesgos dentro de la CS se pueden clasificar en internos y externos (Taki et al., 2016). El estudio descrito por Sanchez-Vega et al. (2019) extiende sobre esta clasificación al diferenciar aquellos asociados con nivel de servicio, inventario y distribución. La Tabla 1 presenta una descripción de estos y su cuantificación en función de su contribución al costo del NP. Note que estos riesgos están directamente relacionados con procesos internos y externos asociados a la CS.

Tabla 1

Contribución de riesgos al costo de inventario de NPs

Riesgo	Contribución en el costo
Impacto en el nivel de servicio (C_{INS})	36%
Desabastecimiento de producto (C_{DAP})	31%
Variación en el costo del producto (C_{CP})	27%
Impacto negativo en la producción (C_{INP})	26%
Sobreabastecimiento de inventario (C_{SAI})	25%
Obsolescencia de materiales (C_{OM})	21%
Retraso en lanzamiento (C_{RL})	20%
Descontinuación temprana (C_{DT})	19%
Distribución ineficiente del producto (C_{DIP})	17%
Fletes adicionales (C_{FA})	14%

Fuente: elaboración propia de la adaptación del modelo presentado en Sánchez-Vega et al. (2019).

De la Tabla 1, los riesgos asociados al aspecto de distribución son los siguientes: Impacto en el Nivel de Servicio (C_{INS}), Desabastecimiento de Producto (C_{DAP}), Lanzamiento Tardío (C_{RL}), Descontinuación Temprana (C_{DT}), Distribución Ineficiente del Producto (C_{DIP}) y Fletes Adicionales (C_{FA}). Adicionalmente el estudio de Sanchez-Vega et al. (2019) identifica etapas del ciclo de vida de los NPs asociadas a estos riesgos. La Tabla 2 presenta estas etapas indicando el tipo de comportamiento en la demanda.

Tabla 2

Impacto de los riesgos sobre los costos de inventario de NPs vs. Ciclo de Vida y Demanda

Tipo de Demanda / Ciclo de Vida	0-3 meses	3-6 meses	6-9 meses	9-12 meses
Demanda con Estacionalidad	100%	75%	Depende de la Estación	Depende de la Estación
Una Sola Demanda	100 % de los Riesgos			
Demandas Continua y Constante	100%	75%	Depende de la Estación	Depende de la Estación
Demanda con Tendencia	100%	75%	50%	25%

Fuente: elaboración propia de la adaptación del modelo presentado en Sánchez-Vega et al. (2019).

Control de inventario para NPs en una red de CEDIS

El modelo propuesto, denominado Control Estratégico de Inventario de Nuevos Productos en Centros de Distribución (INPCEDIS), consiste en la adaptación de varias herramientas logísticas de control de inventario con la inclusión de los factores de riesgo asociados a los NPs. Con base en la Tabla 1, los riesgos más importantes que se abordan son los siguientes:

- Impacto en el Nivel de Servicio (C_{INS}): Una red de distribución de NPs que equilibra los costos de los riesgos con la cantidad óptima de inventario en cada CEDIS puede mejorar la disponibilidad de NPs para satisfacer la demanda del cliente. La disponibilidad durante la fase de introducción de NPs es vital para el éxito de la innovación y la satisfacción del cliente.

- Desabastecimiento de Producto (C_{DAP}): Las herramientas tradicionales de control de inventario no responden adecuadamente a la alta variabilidad e incertidumbre de las demandas de NPs en la fase de introducción en el mercado. Por ello, pueden ser ineficientes para reducir los riesgos de desabasto. En este caso, un modelo más adecuado es necesario para ajustarse a las características de demandas de los NPs en sus primeras fases, reduciendo el desabastecimiento y fortaleciendo su lanzamiento en el mercado.
- Retraso en la Fecha de Lanzamiento (C_{RL}): No se puede hacer la distribución de NPs si no se encuentran disponibles en los CEDIS de la CS. Esto se debe a que autorizar ventas sin disponibilidad del producto puede generar costos de pérdida de oportunidad de venta. Esta situación en la etapa de lanzamiento es más costosa porque implica altos costos de publicidad y marketing para dar a conocer el producto. Por lo tanto, la distribución adecuada de NPs puede garantizar que no haya retrasos en las fechas de lanzamiento ni pérdida de oportunidades de posicionamiento.
- Descontinuación Temprana (C_{DT}): Si bien el riesgo de lanzamiento se da en la etapa inicial, el riesgo de descontinuación temprana se da en la etapa posterior al lanzamiento. Un problema que contribuye a la suspensión temprana de NPs es la baja disponibilidad del producto durante las etapas de lanzamiento y crecimiento. Esto provoca que el mercado no se “conecte” con el producto, reduciendo su posición en un periodo de tiempo determinado, perdiendo su oportunidad por la aparición de competidores o sustitutos.
- Distribución Ineficiente del Producto (C_{DIP}) / Fletes Adicionales (C_{FA}): Estos riesgos surgen cuando las decisiones de inventarios y frecuencias de envíos a los CEDIS dentro de la red se toman con herramientas estándar que no consideran los riesgos específicos de las NPs. Por tanto, el sistema no tiene la capacidad de reaccionar ante la incertidumbre de la demanda de NPs.

Dicho esto, el modelo INPCEDIS propuesto integra dos factores fundamentales considerados para NPs: la demanda y el horizonte de planificación. En el caso de la distribución para cada CEDIS, estos factores pueden determinar las cantidades a entregar durante cada fase o etapa de vida del NP (véase Tabla 2). El modelo integra las siguientes herramientas:

- para determinar el horizonte de planificación, se consideró la adaptación del modelo descrito en (Sanchez-Vega et al., 2019);
- para determinar el inventario en cada CEDIS y reducir los riesgos de NPs considerados (véase Tabla 1) se adaptó el modelo de revisión continua descrito en (Nagi, 2001; Diabat et al., 2009).

Además, se considera que los costos de inventario (por ejemplo, costos de mantener y ordenar) cambian durante las diferentes etapas de la vida del producto y deben actualizarse de acuerdo con la Tabla 2.

Horizonte de Planeación, Integración de Riesgos, Cantidad Económica de Pedido y Costos Totales

Como primer paso se determina el horizonte de planificación del NP para cada CEDIS. Este se estima en base a las demandas acumuladas en los periodos que conforman los ciclos de vida del NP. Como se muestra en la Tabla 2, esto lleva a definir $k=1, \dots, 4$ horizontes de planeación de 3 meses para un ciclo anual.

Si la demanda acumulada en cada horizonte de planeación k para cada CEDIS j se define como D_j^k , y los costos por ordenar y mantener inventario en dicho CEDIS como Co_j^k y Ch_j^k respectivamente, se puede determinar la cantidad económica de pedido por periodo y CEDIS como:

$$Q_j^k = \sqrt{\frac{2D_j^k Co_j^k}{Ch_j^k}}. \quad (1)$$

Nótese que (1) es la formula estándar para determinar la cantidad económica de pedido bajo el supuesto de demanda constante (Nagi, 2001). Por ello, como segundo paso, se procede a extender (1) siguiendo la metodología descrita en (Sanchez-Vega et al., 2019) para integrar los costos de riesgos asociados a los NPs con demanda incierta:

$$Q_{NP_j^k} = \sqrt{\frac{2D_j^k [Co_{NP_j^k} + p_{NP_j^k} \times A_{NP_j^k}]}{Ch_{NP_j^k}}}. \quad (2)$$

Note que (2) es una extensión del modelo de revisión continua, también llamado (Q, R), para determinar la cantidad económica de pedido en presencia de demanda variable (Nagi, 2001; Diabat et al., 2009; Sanchez-Vega et al., 2019). De acuerdo con (2), $Co_NP^k_j$ es el costo integrado por ordenar NPs para el CEDIS j durante el periodo k considerando el transporte al CEDIS y el sobrecosto asociado a las primeras entregas de productos. Esto se puede expresar como:

$$Co_NP^k_j = [Co^k_j + t_j] + [\text{incremento asociado a la primera entrega}] \times r^k. \quad (3)$$

En donde Co^k_j es el costo por ordenar estándar, t_j es el costo de transporte del pedido para el CEDIS j , y r^k es el riesgo asociado al periodo k el cual, de acuerdo con la Tabla 2, tendrá los valores de 1.0, 0.75, 0.50 y 0.25 para $k = 1, 2, 3$ y 4 respectivamente. De acuerdo con la investigación de campo, el costo del pedido tiene un aumento en las primeras entregas de aproximadamente el 30% del costo estándar (por ello, el incremento asociado a la primera entrega se estima como $0.30 \times Co^k_j$). Note que, de acuerdo con (2), este incremento al estar ponderado por r^k irá disminuyendo su valor a medida que el NP se convierta en un producto de línea estable en el mercado.

De manera similar, el costo por mantener se expresa como:

$$Ch_NP^k_j = Ch^k_j + [CSA_j + COM_j] \times r^k. \quad (4)$$

En donde Ch^k_j es el costo estándar por mantener una unidad de producto en inventario en el CEDIS j durante el periodo k , y CSA_j y COM_j son los costos por sobreabastecimiento y obsolescencia de materiales asociados a cada CEDIS j .

Siguiendo con los elementos de (2), $p_NP^k_j$ es el costo de una unidad de NP no abastecida al CEDIS j en el periodo k . Como se muestra a continuación, este costo se integra con los costos asociados al valor de unidad no abastecida (p), nivel de servicio (C_{INS}), desabastecimiento de producto (C_{DAP}), retraso en lanzamiento (C_{RL}), discontinuación temprana (C_{DT}) y distribución ineficiente (C_{DIP}):

$$p_NP^k_j = p_j + [C_{INS_j} + C_{DAP_j} + C_{RL_j} + C_{DT_j} + C_{DIP_j}] \times r^k. \quad (5)$$

Respecto a $A_NP^k_j$, este se define como el número estimado de unidades no abastecidas al CEDIS j durante el periodo k . Esta variable se expresa como:

$$A_NP^k_j = \sigma_{LT}^k \times L(z). \quad (6)$$

En (6) $L(z)$ es una probabilidad que se obtiene de la función de pérdida para un valor z de distribución normal estandarizada inversa asociada al nivel de servicio. Por ejemplo, para un nivel de servicio del 95%, $z = 1.64$, lo cual implica un valor $L(z=1.64) = 0.020$. Por otro lado, σ_{LT}^k es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega o *lead time* (LT) en el CEDIS j en el periodo k .

Una vez definidos los costos y variables necesarios para estimar el tamaño de lote (o cantidad económica de pedido Q) como establece (2), se procede a determinar el punto de reorden R . Si bien Q determina “cuánto ordenar” para minimizar costos operativos, R determina “cuándo ordenar” para evitar el desabasto. De esta manera, R define el nivel de inventario que activa la alerta para ordenar el nuevo lote de tamaño Q que reabastecerá el inventario en el CEDIS. El punto de reorden para cada CEDIS j durante el periodo k se expresa como:

$$R_NP^k_j = \mu_{LT}^k + z \times \sigma_{LT}^k. \quad (7)$$

En (7), z es el valor de distribución normal estandarizada inversa asociada a un nivel de servicio requerido, y μ_{LT}^k es la demanda promedio durante el tiempo de entrega o *lead time* (LT) en el CEDIS j en el periodo k .

Finalmente, se define el conjunto de ecuaciones de costos totales para evaluar de manera objetiva y tangible el beneficio y la efectividad del modelo INPCEDIS. El costo total $CT_NP^k_j$ para cada CEDIS j durante el periodo k se expresa como la suma de los costos descritos en la Tabla 3.

Tabla 3

Modelo de Costos de Revisión Continua con Riesgos Asociados a NPs

Descripción de Costo	Expresión
Costo Total por Ordenar	$TCo_NP^k_j = (Co_NP^k_j \times D^k_j) / Q_NP^k_j$
Costo Total por Mantener	$TCh_NP^k_j = (Ch_NP^k_j \times Q_NP^k_j) / 2$
Costo Total por Mantener Inventario de Seguridad	$TCh_SS_NP^k_j = Ch_NP^k_j \times [R_NP^k_j - \mu_{LT}^k_j + A_NP^k_j]$
Costo Total por Unidades No Abastecidas	$TSH_NP^k_j = p_NP^k_j \times A_NP^k_j \times (D^k_j / Q_NP^k_j)$

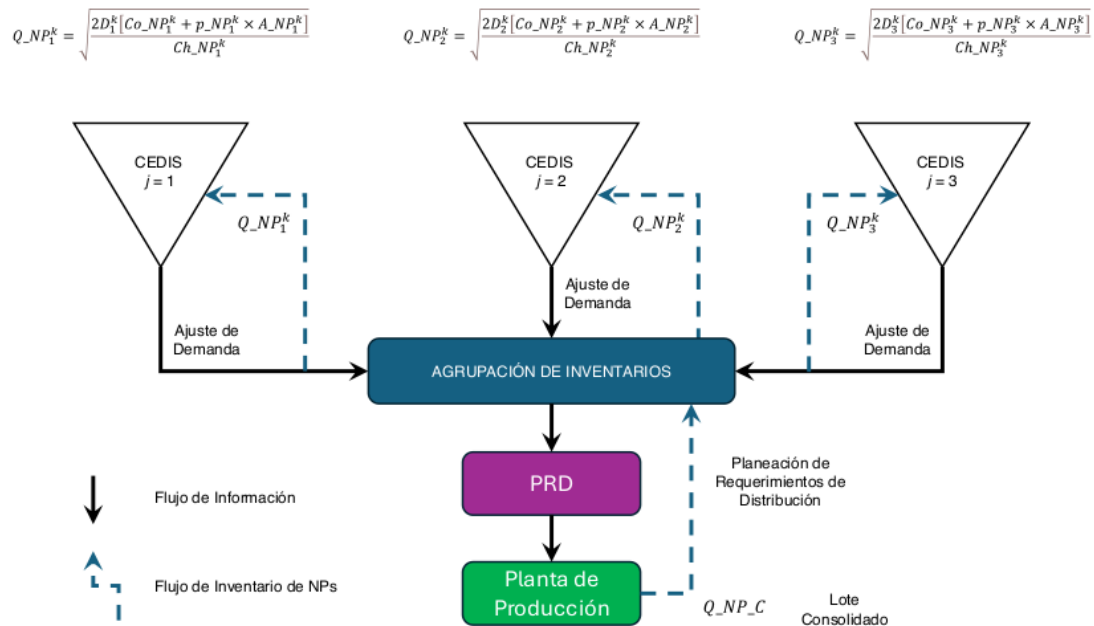
Fuente: elaboración propia de la adaptación del modelo presentado en Sánchez-Vega et al. (2019).

Consolidación de Inventarios en Red de CEDIS Bajo Ambiente de Industria 4.0

La Figura 1 presenta la conceptualización de la implementación del modelo INPCEDIS. Dado que los retrasos son problemas inherentes a NPs, este modelo puede garantizar el cumplimiento de la fecha de lanzamiento, estableciendo niveles de inventario adecuados para cubrir todas las ubicaciones y centros de lanzamiento, lo cual es vital para la sostenibilidad de la innovación de NPs.

Figura 1

Integración del modelo INPCEDIS dentro de la red de distribución – Ejemplo con tres CEDIS (j = 1, ..., 3)



Fuente: elaboración propia.

Como se presenta, el horizonte de planificación para cada CEDIS j está determinado por las etapas del ciclo de vida del producto (trimestres). Luego, se estima el lote de inventario $Q_{NP_j^k}$ para abastecer cada CEDIS j . Estos requisitos se envían al CEDIS regional donde se realiza la agrupación de inventario. Con esta información se realiza una Planificación de Requerimientos de Distribución (PRD) para gestionar y coordinar los datos y frecuencias de suministro entre cada CEDIS j y las plantas de producción.

Note que un flujo de información eficiente es importante para sincronizar las demandas en los diferentes CEDIS con los requisitos de producción en el PRD y las plantas de producción. La interconexión, que es una característica principal en este caso, también lo es de la Industria 4.0 (I4). Como se informa en (Harshamali-Wijewardhana et al., 2020), I4 está respaldado por tecnologías de flujo de información. Además, I4 ha sido identificado como un importante facilitador del desarrollo de NPs (De-Silva et al., 2019). El uso de la tecnología RFID puede suponer un ahorro de hasta un 90% en costes y tiempos de procesamiento en cada CEDIS (Unhelkar et al., 2022; Efthymiou & Ponis, 2021).

Se pueden lograr mejoras en la agrupación del inventario mediante la digitalización completa de la CS. Esto se puede lograr mediante la implementación de Sistemas Ciberfísicos (CPS), que se definen como tecnologías transformadoras para gestionar sistemas interconectados entre sus activos físicos y capacidades computacionales (Baheti & Gill, 2011). En general, una CPS consta de dos componentes principales (Lee et al., 2015):

- Conectividad avanzada para ¹² la adquisición de datos en tiempo real del mundo físico y la retroalimentación de información desde el ciberespacio;
- Gestión inteligente de datos, análisis y capacidad computacional que construye el ciberespacio.

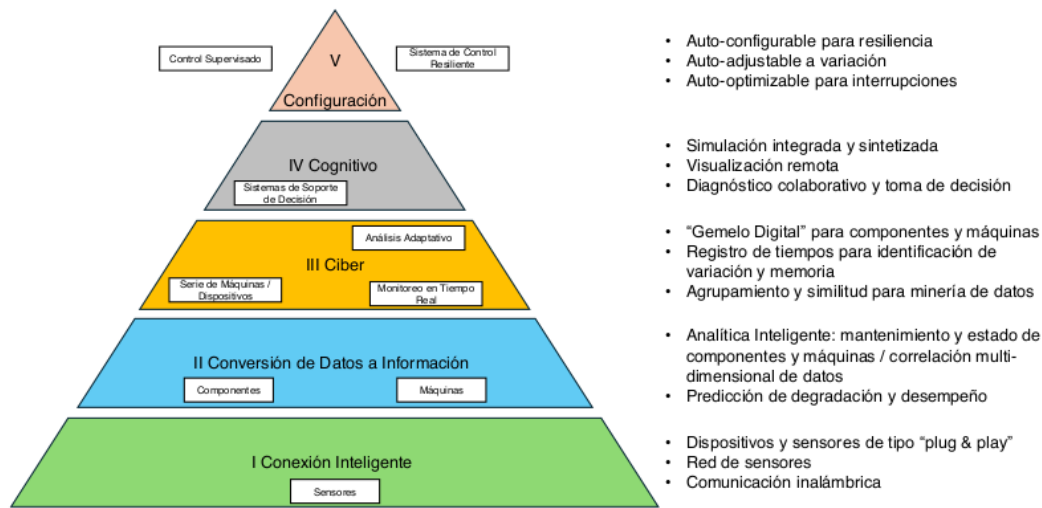
La arquitectura CPS de cinco niveles propuesta por Lee et al. (2015) puede considerarse como una guía para establecer un CPS para el sistema de agrupación de inventarios y otras actividades operativas dentro de los CEDIS. Como se presenta en la Figura 2, la arquitectura CPS comienza con la Conexión de Nivel I, donde se establece la red de sensores para conectar todos los dispositivos y máquinas dentro del sistema físico (es decir, inventarios, pallets, estantes de almacenamiento, bahías de entrega/envío, etc.). Luego, el Nivel II establece los sistemas de procesamiento de la información de estos sensores para realizar predicción, evaluación de riesgos de degradación y correlación de datos. Estos niveles forman la base para el Nivel III, donde realmente se construyen el CPS y el “gemelo digital” para todos los componentes físicos. Con este modelo virtual, los sistemas se pueden aplicar para identificar variaciones en flotas o series de máquinas / dispositivos. Además, se puede realizar monitoreo en tiempo real y análisis de datos con fines de diagnóstico.

Hay que tener en cuenta que el CPS es el elemento clave para los procesos inteligentes de toma de decisiones que se realizan en los niveles IV y V. Como el inventario es importante para mantener una CS funcional, se requieren CEDIS resilientes para autoajustar todas las operaciones y sistemas en presencia de eventos disruptivos en el mercado.

Finalmente, la optimización de las rutas de distribución entre cada CEDIS puede proporcionar una mejora adicional a la red. Se puede considerar la optimización multiobjetivo de las rutas de distribución logística en I4 para lograr este objetivo. La planificación de rutas dentro de los CEDIS también se puede implementar para optimizar la distribución dentro de los almacenes de los CEDIS (Nguyen-Du et al., 2020).

Figura 2

Arquitectura de 5 niveles para la implementación de Sistemas Ciber-físicos (CPS)



Fuente: elaboración propia basada en Lee et al. (2015).

Aplicación y resultados

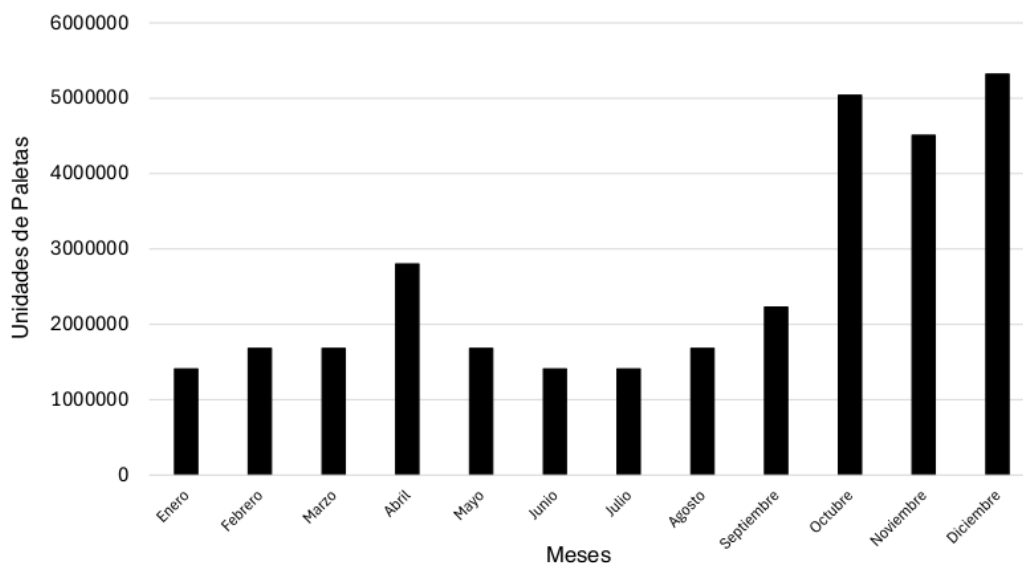
Para ejemplificar las ventajas del modelo INPCEDIS, se realizó una aplicación teórica con una instancia de caso descrita por Sánchez-Vega et al. (2018). Este ejemplo consta de datos de una empresa que ha invertido una gran cantidad de recursos en el desarrollo de NPs. Su familia de productos más rentable son paletas de caramelo en cuatro sabores.

La introducción de este NP ha implicado un cambio de tecnología y procesos dentro de la empresa, así como el consumo de nuevos y únicos materiales. Esto se debe a que se ha determinado que una paleta de múltiples sabores es una opción exitosa para el NP y la compañía está lista para comenzar con los planes de suministro y lanzamiento del NP.

Con base en los estudios de mercado realizados en meses anteriores, la empresa estimó un volumen de ventas de aproximadamente 30.82 millones de paletas en su primer año. Si la respuesta del mercado es favorable, el volumen de ventas representaría un incremento del 9% en las ventas anuales de la empresa. La Figura 3 presenta la demanda mensual estimada para el primer año de vida de estos NPs. Como se presenta, en el último semestre la demanda presenta cierto grado de estacionalidad debido a las temporadas de Halloween y Navidad.

Figura 3

Volumen de ventas del NP



Fuente: elaboración propia.

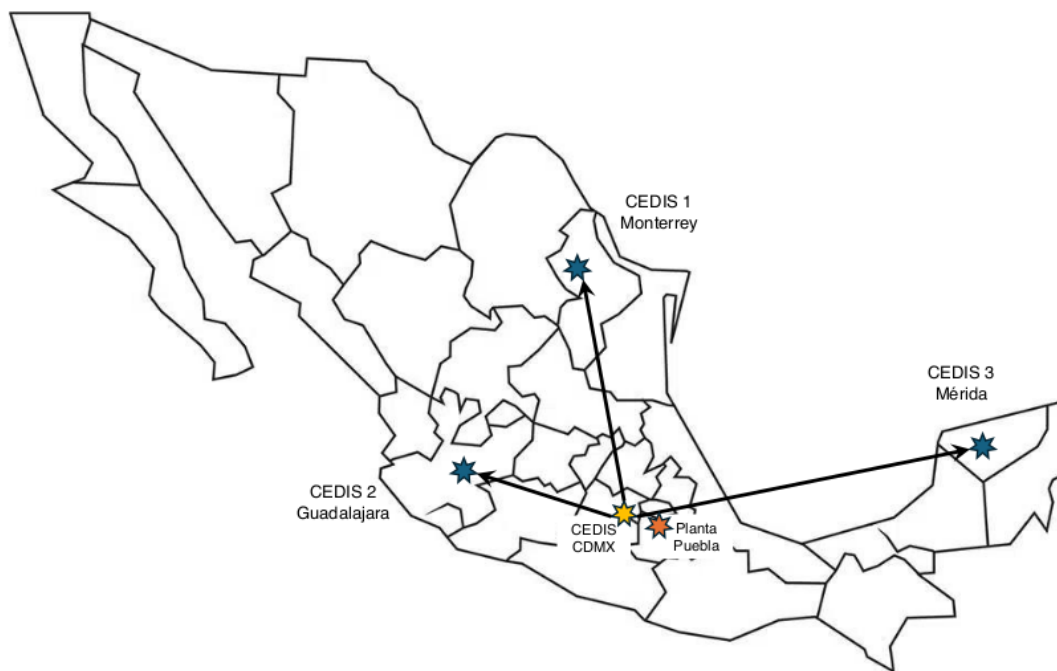
La empresa cuenta con una red de distribución que consta de las siguientes instalaciones en México (véase Figura 4):

- a) La planta de fabricación ubicada en la Ciudad de Puebla
- b) Un CEDIS principal ubicado en la Ciudad de México.

- c) Tres CEDIS regionales ubicados en Monterrey (CEDIS 1), Guadalajara (CEDIS 2) y Mérida (CEDIS 3). La Tabla 4 presenta la demanda mensual estimada de cada CEDIS para el NP.

Figura 4

Instalaciones de la red de distribución



Fuente: elaboración propia.

Tabla 4

Demanda mensual estimada para cada CEDIS para el NP (millones de unidades)

Meses	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
CEDIS 1 Monterrey	1.97	1.76	2.07	0.55	0.66	0.66
CEDIS 2 Guadalajara	1.71	1.53	1.81	0.48	0.57	0.57

CEDIS 3 Mérida	1.36	1.22	1.44	0.38	0.45	0.45
Meses	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
CEDIS 1 Monterrey	1.09	0.66	0.55	0.55	0.66	0.87
CEDIS 2 Guadalajara	0.95	0.57	0.48	0.48	0.57	0.76
CEDIS 3 Mérida	0.76	0.45	0.38	0.38	0.45	0.60

Fuente: elaboración propia.

Parámetros del Modelo INPCEDIS

La empresa tiene un calendario operativo de 52 semanas. El costo unitario del NP se estableció en un precio superior al de las paletas base debido al proceso de fabricación y materiales adicionales ($C = \$ 3.06$). Debido al proceso de producción específico del NP, la empresa estableció un plazo de entrega (LT) de 2 semanas que considera el tiempo de preparación de un pedido más los tiempos de transporte y recepción. Los LT para cada CEDIS se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Tiempos de entrega (LT) para cada instalación en la red de distribución

Desde /a	LT (semanas)
Planta a CEDIS CDMX	2
CEDIS CDMX a CEDIS 1	0.571
CEDIS CDMX a CEDIS 2	0.429
CEDIS CDMX a CEDIS 3	0.714

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los costos asociados al inventario, la empresa definió lo siguiente para cada CEDIS (estos costos son los mismos en cada CEDIS): (a) costo base del pedido $Co = \$136.00$ (para los primeros tres meses se considera que el Co es 30% mayor debido a tareas de gestión adicionales); (b) costo estándar de mantenimiento $Ch = 0.05 \times C$. Además, la empresa ha establecido un nivel de servicio (NS) del 97% con un costo de

unidad no suministrada (pérdida) $p = \$5.46$. Debido a lo descrito en las Secciones 2 y 3, existen riesgos latentes asociados a NPs que podrían generar un impacto monetario negativo. Por ello, en la Tabla 6 se presentan los costos de riesgo estimados para NPs con base en su costo unitario C .

Tabla 6

Contribución de cada riesgo al costo unitario del NP

Riesgo	Costo unitario (\$)	Riesgo	Costo unitario (\$)
C_{INS}	1.10	C_{DIP}	0.52
C_{DAP}	0.95	C_{FA}	0.43
C_{SAI}	0.76	C_{RL}	0.61
C_{OM}	0.64	C_{DT}	0.58

Fuente: elaboración propia.

Resultados del Modelo INPCEDIS

Paso 1: Cálculo del Tamaño de Lote. Debido a la estacionalidad de la demanda (véase Figura 3), los costos operativos por ordenar y mantener se ajustan considerando los riesgos en las diferentes etapas o periodos del ciclo de vida de los NP según lo definido por (3) y (4). Para los costos de transporte se consideran para cada CEDIS: \$15.000 al CEDIS 1, \$10.000 al CEDIS 2 y \$21.000 al CEDIS 3. Con estos datos, las Tablas 7 y 8 presentan los costos por ordenar y mantener de cada CEDIS durante las diferentes etapas de vida del NP.

Tabla 7

$Co_NP^k_j$ por CEDIS y ciclo de vida del NP

CEDIS (j)	0-3 meses ($k=1$)	4-6 meses ($k=2$)	7-9 meses ($k=3$)	10-12 meses ($k=4$)
1	15176.8	15166.6	15156.4	15146.2
2	10176.8	10166.6	10156.4	10146.2
3	21176.8	21166.6	21156.4	21146.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8

$Ch_NP^k_j$ por CEDIS y ciclo de vida del NP

CEDIS (j)	0-3 meses (k=1)	4-6 meses (k=2)	7-9 meses (k=3)	10-12 meses (k=4)
1	1.553	1.203	0.853	0.503
2	1.553	1.203	0.853	0.503
3	1.553	1.203	0.853	0.503

Fuente: elaboración propia.

Considerando la demanda mensual y las etapas de vida de los NP, la Tabla 9 presenta las demandas totales acumuladas D^k_j para cada CEDIS.

Tabla 9

Demanda D^k_j por CEDIS y periodo de ciclo de vida de NP (millones de unidades)

CEDIS (j)	0-3 meses (k=1)	4-6 meses (k=2)	7-9 meses (k=3)	10-12 meses (k=4)
1	1.87	2.30	2.08	5.80
2	1.62	2.00	1.81	5.05
3	1.28	1.59	1.43	4.02

Fuente: elaboración propia.

Basado en (5), el parámetro de costo $p_NP^k_j$ se calcula para todos los CEDIS. Estos resultados se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10

Costo de pérdida unitario $p_NP^k_j$ para cada CEDIS

Etapas de Ciclo de Vida	0-3 meses (k=1)	4-6 meses (k=2)	7-9 meses (k=3)	10-12 meses (k=4)
p	9.22	7.97	7.13	6.30

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al cálculo del parámetro $A_NP^k_j$, (6) indica que son necesarios $\sigma_{L^k_j}$ y $L(z)$. Para ello, de la información histórica (véase Figura 3 y Tabla 5), se calcula la desviación

estándar durante el LT para cada etapa del ciclo de vida del NP. Note que el periodo sobre el cual la desviación estándar se calculan es de 3 meses (véase Tabla 2), por lo que LT debe ser establecido en base al mismo periodo. Las Tablas 11 y 12 presentan los ajustes del LT y el cálculo de $\sigma_{LT^k_j}$ respectivos.

Tabla 11

Tiempos de entrega (LT) para cada instalación en la red de distribución tomando como referencia periodos de 3 meses

Desde /A	LT (semanas)
Planta a CEDIS CDMX	0.1667
CEDIS CDMX a CEDIS 1	0.0475
CEDIS CDMX a CEDIS 2	0.0357
CEDIS CDMX a CEDIS 3	0.0595

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12

Desviación estándar $\sigma_{LT^k_j}$ por CEDIS y periodo de ciclo de vida de NP (número de unidades)

CEDIS	0-3 meses	4-6 meses	7-9 meses	10-12 meses
(j)	(k=1)	(k=2)	(k=3)	(k=4)
1	23995	107817	61428	59779
2	17017	81698	46813	46468
3	17075	85444	47487	47047

Fuente: elaboración propia.

Dado que el nivel de servicio es del 97%, esto equivale a un valor $z = 1.880$ para el cual $L(z) = 0.0116$. De esta manera, como se indica en (2), con la información descrita en las Tablas 7 a 11 se puede calcular el tamaño de lote $Q_{NP^k_j}$.

Paso 2: Cálculo del Punto de Reorden. De acuerdo con (7), para el cálculo de $R_{NP^k_j}$ son necesarios $\mu_{LT^k_j}$, z y $\sigma_{LT^k_j}$. Si bien z ya está dada por el caso de estudio ($z = 1.880$), $\sigma_{LT^k_j}$ se ha calculado de los datos históricos y ya se presenta en la Tabla 11, sólo es necesario el cálculo de $\mu_{LT^k_j}$. Para ello se sigue el mismo procedimiento que se estableció para $\sigma_{LT^k_j}$. Los resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Demanda promedio $\mu_{LT^k_j}$ por CEDIS y periodo de ciclo de vida de NP (número de unidades)

CEDIS	0-3 meses	4-6 meses	7-9 meses	10-12 meses
(j)	(k=1)	(k=2)	(k=3)	(k=4)
1	88981	109442	98973	275983
2	57915	71500	64708	180538
3	76160	94605	85085	239190

Fuente: elaboración propia.

Con estos últimos parámetros, de acuerdo con (7) y la Tabla 3, se pueden calcular R y los costos totales asociados al inventario para su evaluación.

Paso 3: Cálculo de Costos Totales. La Tabla 14 presenta los cálculos realizados para el tamaño de lote ($Q_{NP^k_j}$), el punto de reorden ($R_{NP^k_j}$) y el inventario de seguridad

($SS_NP_j^k = z \times \sigma_{LT}^k$). En tanto, la Tabla 15 muestra el cálculo de los costos totales como se describen en la Tabla 3.

Tabla 14

Resultados de tamaño de lote ($Q_NP_j^k$), punto de reorden ($R_NP_j^k$) y niveles de inventario de seguridad ($SS_NP_j^k$) para el caso de estudio de NPs (número de unidades)

$Q_NP_j^k$				
CEDIS	0-3 meses	4-6 meses	7-9 meses	10-12 meses
(j)	(k=1)	(k=2)	(k=3)	(k=4)
1	206735	312495	315378	672163
2	158223	244818	245039	522599
3	194739	278710	290710	627629
$R_NP_j^k$				
1	134110	312224	214506	388415
2	89920	225157	152753	267935
3	108274	255307	174399	327675
$SS_NP_j^k$				
1	45130	202782	115533	112432
2	32005	153657	88046	87397
3	32114	160702	89314	88485

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15*Resultados de costos totales para el caso de estudio de NPs (\$)*

Costo total por ordenar $TCo_NP^k_j$				
CEDIS	0-3 meses	4-6 meses	7-9 meses	10-12 meses
(j)	(k=1)	(k=2)	(k=3)	(k=4)
1	137280	111628	99960	130694
2	104197	83054	75021	98045
3	139193	120753	104068	135443
Costo total por mantener $TCh_NP^k_j$				
1	160530	187966	134509	169049
2	122861	147258	104509	131434
3	151215	167644	123988	157849
Costo total por mantener inventario de seguridad $TCh_SS_NP^k_j$				
1	70519	245454	99158	56902
2	50011	185991	75567	44232
3	50181	194519	76655	44783
Costo total por unidades no abastecidas $TSH_NP^k_j$				
1	23250	76338	34548	38355
2	18663	64204	29488	33388

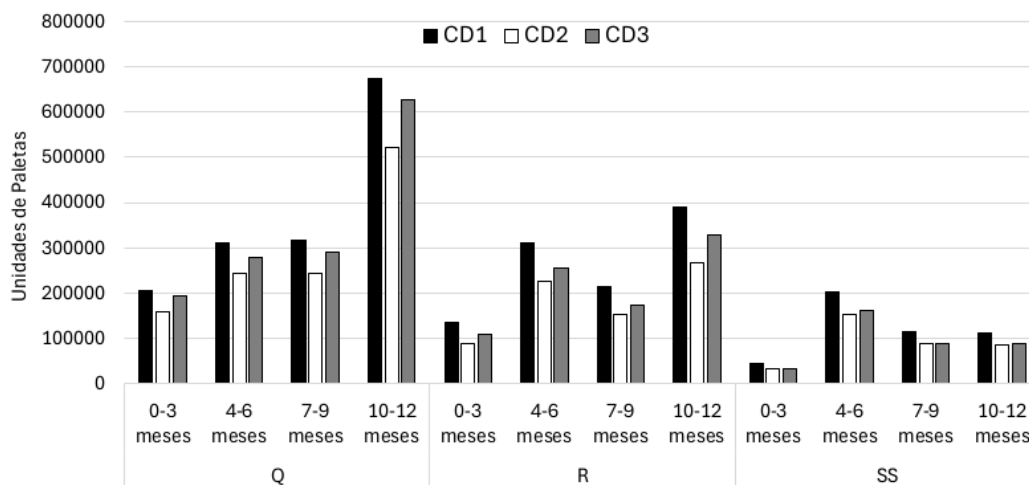
3	12022	46891	19920	22406
$\text{Costo total } CT_NP^k_j = TCo_NP^k_j + TCh_NP^k_j + TCh_SS_NP^k_j + TSH_NP^k_j$				
1	391579	621386	368176	395000
2	295732	480507	284585	307100
3	352611	529807	324631	360481

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, las Figuras 5 y 6 muestran la visualización de los datos presentados en la Tabla 14 y los costos totales $CT_NP^k_j$ de la Tabla 15.

Figura 5

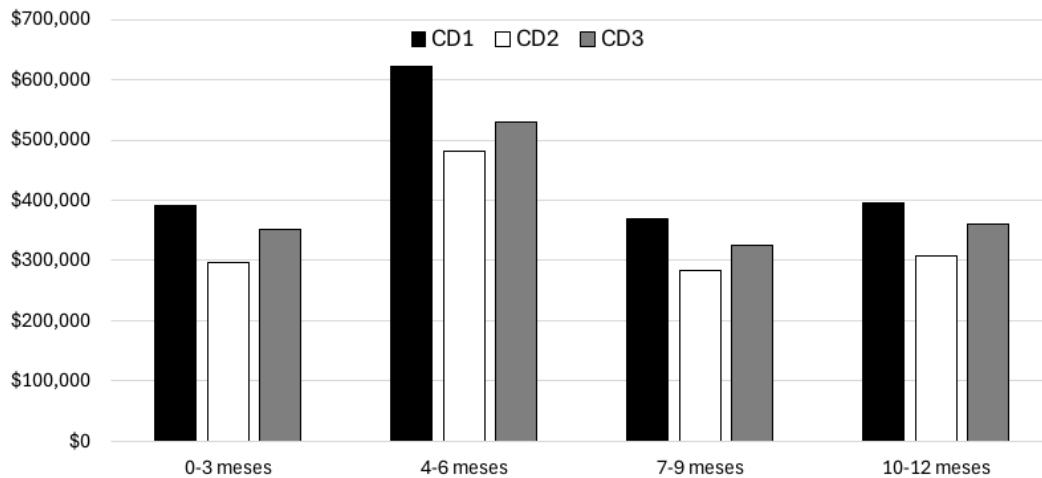
Visualización de resultados de $Q_NP^k_j$, $R_NP^k_j$ y $SS_NP^k_j$ para cada CEDIS durante el ciclo de vida del NP (número de unidades)



Fuente: elaboración propia

Figura 6

Visualización de resultados de $CT_NP^{k_j}$ para cada CEDIS durante el ciclo de vida del NP (\$)



Fuente: elaboración propia.

Discusión y Conclusiones

Compartir información en tiempo real en toda la CS ayuda a mitigar los riesgos y reducir los costos entre almacenes, centros de datos, proveedores y clientes. En este contexto, el modelo INPCEDIS propuesto puede ayudar a reducir los tiempos de entrega y el tamaño de los lotes, y aumentar los niveles de servicio para hacer procesos logísticos más eficientes.

El modelo INPCEDIS puede equilibrar el inventario entre el riesgo de NPs y la variación de la demanda a través de los CEDIS en una red de distribución. Como se presenta en la Figura 5, a medida que el NP alcanza la madurez en el mercado, el tamaño del lote $Q_NP^{k_j}$ aumenta en comparación con el tamaño durante los meses iniciales de su ciclo

de vida. Esto se debe a la reducción de los costos de riesgo a medida que el NP se establece en el mercado y las condiciones se vuelven similares a las de los productos base.

Dado que para un NP en sus primeras etapas de lanzamiento es vital contar con un inventario adecuado en todos los puntos de la red de distribución, el modelo INPCEDIS propone el cálculo de un inventario estratégico en cada CEDIS de una red de distribución ya establecida. Este inventario equilibrado reduce el impacto de los riesgos más relevantes de un NP, como son el impacto en el nivel de servicio, la escasez de productos y la discontinuación anticipada.

Además, la variabilidad de la demanda puede ser más significativa después del lanzamiento inicial del NP durante el período de 4 a 6 meses, lo que provocará un aumento en el $CT_{NP^k_j}$ (véase Figura 6). Sin embargo, a medida que el NP se establece en el mercado, los costos de riesgo y la variabilidad de la demanda pueden reducirse. Así, con el modelo INPCEDIS, incluso si la demanda aumenta, el $CT_{NP^k_j}$ se puede reducir debido a la mitigación de los costos de riesgo y la variabilidad.

Para la implementación como se describe en la Figura 1 es necesario un sistema de información eficiente para la integración de este modelo en un sistema de PRD para consolidar pedidos para una planificación óptima entre el proveedor y los CEDIS. Por lo tanto, es importante mantener actualizado el flujo de información en toda la CS. Actualmente, las tecnologías I4 y la estructura CPS de cinco niveles propuesta por Lee et al. (2015) pueden proporcionar los siguientes recursos para lograr este objetivo:

- Digitalización de todos los componentes, máquinas y procesos dentro de los centros de datos.
- Conexión entre todos los procesos y hardware dentro del CEDIS.
- Conexión entre el sistema PRD y el sistema CPS.
- Autoajuste del sistema PRD y de los CEDIS en colaboración con la gestión de alto nivel.

- Toma de decisiones inteligente a través de la CS para control de riesgos y operaciones resilientes.

Referencias

- Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. The Impact of Control Technology, 161-166.
- Benjaafar S., Cooper W., & Kim J. (2005). On the benefits of pooling in production-inventory systems. *Management Science*, 51(4), 548-565. doi: <https://www.jstor.org/stable/20110352>
- Berman O., & Mahdi-Tajbakhsh M. (2011). On the Benefits of Risk Pooling in Inventory Management. *Production & Operations Management*, 20(1), 57-71. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2010.01134.x>
- Cardoso M., Parreira R., & Morosini E. (2021). Integrated operational supply chain planning in Industry 4.0. *International Journal of Integrated Supply Management*, 14(1), 28-49. doi: <https://doi.org/10.1504/IJISM.2021.113566>
- Chaudhuri A. & Boer H. (2016). The impact of product-process complexity and new product development order winners on new product development performance: The mediating role of collaborative competence. *Journal of Engineering and Technology Management*, 42: 65-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.10.002>
- Cooper R. (2017). *Winning at new products: Creating value through innovation* (5th ed.). New York: Basic Books.
- De-Silva, R., Rupasingh, T., & Apeageyi, P. (2019). A collaborative apparel new product development process model using virtual reality and augmented reality technologies as enablers. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 12: 1-11. doi: <https://doi.org/10.1080/17543266.2018.1462858>

- Diabat A., Aouam T., & Al-Araidah O. (2009). The uncapacitated fixed-charge facility location problem with a multi-echelon inventory system. 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering (pp. 803-807). Troyes, France: IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ICCIE.2009.5223883>
- Edirisinghe C., & Atkins D. (2017). Lower bounding inventory allocations for risk pooling in two-echelon supply chains. *International Journal of Production Economics*, 187, 159-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.015>
- Efthymiou, O., & Ponis, S. (2021). Industry 4.0 Technologies and Their Impact in Contemporary Logistics: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13 (21): 1-27. doi: <https://doi.org/10.3390/su132111643>
- Harshamali-Wijewardhana, G.-E., Kumari-Weerabahu, S., & Don-Nanayakkara, J.-L. (2020). New product development process in apparel industry using Industry 4.0 technologies. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 1-22. doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2020-0058>
- Hashiba L., & Paiva E. (2016). Incorporating sustainability in the New Product Development process: An analysis based on the resource-based view. *BASE - Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos*, 13(3): 188-199. doi: <https://doi.org/10.4013/base.2016.133.01>
- Khan O., Stolte T., Creazza A., & Hansen Z. (2016). Integrating product design into the supply chain. *Cogent Engineering*, 3(1), 1-24. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1210478>
- Kumar S., & Tiwari M. (2013). Supply chain system design integrated with risk pooling. *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 580-588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.11.013>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

- Liao Y., & Marsillac E. (2015). External knowledge acquisition and innovation: The role of supply chain network-oriented flexibility and organizational awareness. *International Journal of Production Research*, 53(18): 5437-5455. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1008106>
- Mak H., & Shen Z. (2012). Risk diversification and risk pooling in supply chain design. *IIE Transactions*, 44(8), 603-621. doi: <https://doi.org/10.1080/0740817X.2011.635178>
- Nagi R. (2001). Notes of IE 505 Production Planning and Control: Inventory Control (uncertain demand). University at Buffalo, Department of Industrial Engineering. New York: State University of New York.
- Nguyen-Du, D., Tran-Huu, T., & Nananukul, N. (2020). A Dynamic Route-Planning System Based on Industry 4.0 Technology. *Algorithms*, 13(12): 1-17. doi: <https://doi.org/10.3390/a13120308>
- Park H., Chang H., & Park Y. (2015). Firm's knowledge creation structure for new product development. *Cogent Business & Management*, 2(1): 1-19. doi: <https://doi.org/10.1080/23311975.2015.1023507>
- Parlings M, Klingebiel K. (2017). A framework for aligning the supply chain throughout a radical product innovation life cycle. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 31(1/2/3): 37-61. doi: <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2017.082011>
- Sanchez-Vega M., Caballero-Morales S.O., Sanchez-Partida D., & Martinez-Flores J. (2019). Risk-based Strategic Inventory Supply Model for New Products. In J. Garcia-Alcaraz, L. Rivera-Cadavid, R. Gonzalez-Ramirez, G. Leal-Jamil, & M. Chong-Chong (Eds.), *Best Practices in Manufacturing Processes* (pp. 75–95). Springer-Verlag. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0_4
- Schmitt A., Sun S., Snyder L., & Shen Z. (2015). Centralization versus decentralization: Risk pooling, risk diversification, and supply chain disruptions. *Omega*, 52, 201-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.06.002>

- Shu J., Li Z., & Huang L. (2013). Demand selection decisions for a multi-echelon inventory distribution system. *Journal of the Operational Research Society*, 64(9), 1307-1313. doi: <http://www.jstor.org/stable/24501058>
- Taki P., Barzinpour F., & Teimoury E. (2016). Risk-pooling strategy, lead time, delivery reliability and inventory control decisions in a stochastic multi-objective supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 619-646. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2115-6>
- Unhelkar, B., Joshi, S., Sharma, M., Prakash, S., Krishna-Mani, A., & Prasad, M. (2022). Enhancing supply chain performance using RFID technology and decision support systems in the industry 4.0 - A systematic literature review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2): 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100084>
- Watson M., Lewis S., Cacioppi P., & Jayaraman J. (2012). *Supply Chain Network Design: Applying Optimization & Analytics to Global Supply Chain*. USA: Pearson Education.
- Yang L., Ng C., & Cheng T. (2010). Evaluating the effects of distribution centres on the performance of vendor-managed inventory systems. *European Journal of Operational Research*, 201(1), 112-122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.02.006>

Sobre los autores

Fannia María Cadena Montes

Doctora en Ciencias Sociales, Maestra en estudios de población en el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Su principal línea de investigación es el desarrollo económico y social. Sus últimas tres principales publicaciones, son *México y la sobreexplotación del capital natural: responsabilidad ecológica, social y económica*, 2023; *Programas sociales y población vulnerable*. Memoria del XII Congreso Internacional de Investigación Social, 2023; *Situación económica y financiera de México en el proceso de transformación*. Memoria del XII Congreso Internacional de Investigación Social, 2023.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Silvia Montiel Palma

Ingeniera Civil y Maestra en Ingeniería Ambiental por la Facultad de Ingeniería UNAM. Doctora en Ciencias por el Instituto de Geofísica UNAM. Experiencia profesional como ingeniera proyectista en diseño de líneas de conducción de agua potable y drenajes sanitario y pluvial. Responsable ambiental de las estaciones de combustible de la Red de Transporte de Pasajeros, RTP en la Ciudad de México. Consultoría en el diseño de plantas de tratamiento de agua en diversas empresas. Interés en temas ambientales y en la relación de la ingeniería civil en el desarrollo económico y social. Profesora investigadora de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6445-0209>

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Heriberto Niccolas Morales

Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y Maestro en Ingeniería (Planeación) por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor Investigador de Tiempo Completo del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura (AAIyA) en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Las áreas de investigación de interés son: estudios de futuro, estrategia y competitividad de organizaciones, pensamiento sistémico, planeación, innovación, sustentabilidad y creación de valor. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, como candidato. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6402-121X>

ResearchGate:

Google Academic:

Ramiro Cadena Uribe

Maestro en Estudios de Población del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Forma parte de la Red de investigación de diseño. Su principal línea de investigación es el desarrollo económico y social. Sus últimas tres publicaciones son *México y la sobreexplotación del capital natural: responsabilidad ecológica, social y económica*, 2023; *Micro, pequeñas y medianas empresas en México. Administración del capital humano*, 2023 y *Desafíos sociales en el ámbito de la mercadotecnia: análisis empíricos de problemáticas contemporáneas*, 2023.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Humberto Iván Navarro Gómez

Doctor en Ciencias, especialidad en Hidrociencias, Posdoctorado en Uso Integral del Agua, Maestro en Ingeniería Hidráulica, Maestro en Estructuras. Profesor Investigador de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las áreas de interés de investigación están relacionadas con las temáticas de: vulnerabilidad, el análisis de riesgos y la ingeniería civil forense, la planificación de los asentamientos humanos y el reordenamiento territorial, así como todo lo relacionado con el sector del agua desde la perspectiva social, económica, de innovación tecnológica y la aplicación de la ingeniería en el ciclo hidrosocial. Prioriza el sector para abasto y distribución de agua potable, así como el reúso y sostenibilidad del recurso hídrico. Miembro de diversos colegios de profesionistas y de asociaciones nacionales e internacionales, forma parte del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores y del Sistema PRODEP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>

ResearchGate:

Google Academic:

Christopher Contreras López

Arquitecto por el Instituto Tecnológico de Pachuca, Maestro en Arquitectura y con estudios de Doctorado en la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las áreas de interés de investigación están relacionadas con las temáticas de: análisis y planificación del territorio, análisis, gestión y valorización del patrimonio natural y cultural; arquitectura y ciudad; arquitectura, medio ambiente y sustentabilidad y diseño arquitectónico. Perfil Deseable PRODEP.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-3103> y Scopus Author ID: 57197734900

ResearchGate:

Google Academic:

María del Refugio González Sandoval

Doctora en Ingeniería, profesora investigadora de Tiempo Completo del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Línea de investigación en Ingeniería Ambiental, con enfoque en la gestión de recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, desarrollo sustentable y disposición de residuos mineros. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8174-1393>

ResearchGate:

Google Academic:

Carmen Julia Navarro Gómez

Doctora en Ciencias de Materiales, Maestra en Ingeniería Hidráulica e Ingeniera Civil. Profesor Investigador de Asignatura de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Las áreas de interés de investigación están relacionadas con las temáticas de: sector del agua, desde la perspectiva social, económica, de innovación tecnológica y la aplicación de la ingeniería en el ciclo hidrosocial; priorizando el sector para abasto y distribución de agua potable, así como el reuso y sostenibilidad del recurso hídrico. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, candidato.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6688-9867>

ResearchGate:

Google Academic:

Joan Esteban Moreno Hernández

Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP. Es profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales, Institución Universitaria de Envigado, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3426-906X>

ResearchGate:

Google Academic:

Patricia Cano Olivos

Licenciada en Ingeniería Industrial, Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial y Doctora en Logística y Gestión de la Cadena de Suministro. Actualmente es profesora-investigadora de la Facultad de Industrial y Logística de la UPAEP y también pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Sus líneas de investigación son la gestión y optimización de operaciones logísticas y la gestión de riesgos en la cadena de suministro. Ha participado en congresos nacionales e internacionales y colabora en proyectos con el Gobierno del Estado de Puebla, México. También ha publicado artículos científicos en revistas arbitradas e indexadas como SCOPUS, JCR y SPRINGER, entre otras.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1754-6619>

ResearchGate:

Google Academic:

Diana Sánchez-Partida

Profesora-investigadora del Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) en México. Ha publicado más de 161 artículos científicos, es autora y editora de dos libros *Disaster Risk Reduction in Mexico* y *Humanitarian Logistics in the Disaster Risk Reduction Perspective*, ambos con editorial Springer. Actualmente, galardonada con el Premio Nacional en Logística "Galardón Tameme 2023". Es la líder del Cuerpo Académico de Logística Humanitaria y Resiliencia en los Diferentes Sectores Económicos. Se graduó del doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Ha recibido becas de

doctorado y posdoctorado por CONACyT. Desde el 2018 es miembro del Consejo Nacional de Investigadores de México SNI-II. Sus áreas de investigación y de interés son reducción del riesgo de desastres, logística humanitaria, resiliencia en actividades económicas y en las operaciones logísticas; planeación de la producción, optimización, gestión de almacenes e inventarios, entre otras.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5771-1362>

ResearchGate:

Google Academic:

Abel García Villagrán

Doctor en Logística y Gestión de la Cadena de Suministro. Su principal área de investigación es el desempeño logístico de las PYMES en México. Actualmente, es profesor en el Instituto Tecnológico de Puebla y en la Universidad Madero en Puebla, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5520-900X>

ResearchGate:

Google Academic:

Jorge Carro Suárez

Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Profesor de tiempo completo adscrito al Programa Académico de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Tlaxcala. Sus líneas de investigación están enfocadas en el desarrollo sustentable, innovación e Industria 4.0. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) Nivel I.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8464-2566>

Web of Science Researcher ID: ABJ-5119-2022

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Susana Sarmiento Paredes

Profesora Investigadora de Tiempo Completo adscrita a la Facultad de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Sus líneas de investigación están relacionadas con el desarrollo sustentable, innovación y competitividad. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel I.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1714-9066>

Web of Science Researcher ID: AGJ-7241-2022

ResearchGate:

Google Academic:

Edith Mendoza Ramírez

Doctora en ciencias en ingeniería con énfasis en análisis y modelación de sistemas por parte de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es profesora investigadora de la Universidad Politécnica de Pachuca en el Área Académica de Mecánica Automotriz. Las áreas de interés de investigación se relacionan con las siguientes temáticas: modelo de negocio de turismo, análisis, modelación y optimización de sistemas socio técnico.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3675-4758>

ResearchGate:

Google Academic:

Jaime Garnica González

Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, es profesor investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las áreas de interés de investigación están relacionadas con las temáticas de: técnicas heurísticas para la planeación en organizaciones, innovación y desarrollo tecnológico en productos, servicios y en sistemas en general; modelo de negocios en turismo; mejoramiento de la actividad docente en ingeniería y análisis, modelación y optimización de sistemas sociotécnicos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, Nivel 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-5144>

ResearchGate:

Google Academic:

Erika Cruz Coria

Licenciada en Turismo por la Universidad Autónoma del Estado de México. Maestra y Doctora en Ciencias Ambientales por la por la Universidad Autónoma del Estado de México. Profesora-investigadora del Área Académica de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Autónoma de Occidente. Forma parte del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII). Las líneas de investigación que cultiva son: estudios socioambientales del turismo, estudios feministas del turismo. Actualmente participa en dos proyectos de investigación denominados: “Cartografías urbanas. Análisis de la resignificación del espacio público desde la experiencia de la población local de Mazatlán como entomo turístico” y “Percepción de seguridad y experiencias de violencia de las mujeres que habitan las Ciudades Turísticas”. Correo electrónico: ecoria84@hotmail.com

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Héctor Rivera Gómez

Doctor en Ingeniería por la *École du Technologie Supérieure*, en Montreal, Canadá. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial y la licenciatura en Ingeniería Industrial en la UAEH. Es profesor-investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Área Académica de Ingeniería desde el 2014. Ha realizado diversas estancias post-doctorales en la Université du Québec, Canadá. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2, además es miembro del SMIO, la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones. Su principal área de interés es el análisis, simulación, optimización y control de sistemas de producción inteligentes, cadenas de suministro y manufactura esbelta, áreas en la que ha desarrollado múltiples artículos científicos y alumnos graduados de licenciatura y postgrado. Actualmente el Dr. Rivera-Gómez realiza actividades de investigación, docencia y dirección de tesis de nivel de licenciatura, maestría y doctorado.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Asel Juárez Vite

Ingeniero Industrial con énfasis en calidad total egresado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Maestro en Sistemas de Calidad y Productividad por el ITESM, y Doctorado en Ciencias de la Educación, por el Instituto Educativo y Cultural Hidalgo A.C. (INECUH), de igual manera pasante en el Doctorado en Ciencias de Ingeniería con Énfasis en Análisis y Modelación de Sistemas de la UAEH. Cuenta con 22 años de experiencia en diseño e implantación de sistemas de calidad y mejora continua en empresas de manufactura y de servicios dentro de las que destacan: Consultoría empresarial hidalguense S.C, Industria EFCSI S.A de C.V., PACKSYS S.A de C.V., Troquelados Latinoamericanos S.A de C.V., DINA CAMIONES S.A DE C.V, GREENBRIER Planta Apizaco. Actualmente da consultoría a empresas en la región. Ha participado como conferencista y ponente en diversos foros académicos y de investigación y es autor de varios capítulos de libros y artículos científicos.

[ORCID:](#)

[ResearchGate:](#)

[Google Academic:](#)

José Ramón Corona Armenta

Profesor-investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ingeniero civil por el Instituto Tecnológico de Pachuca, Maestro en ingeniería por la UNAM y Doctor en Ingeniería de Sistemas Industriales por el Instituto Politécnico Nacional de Lorraine, en Francia. Líder del Cuerpo Académico de Ingeniería de Sistemas Organizacionales, de 2005 a 2013, del cual sigue siendo integrante; subjefe del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, de 2011 a 2017, y jefe de área de 2017 a 2021. Trabajó en la Comisión Nacional del Agua de 1993 a 2001, como especialista en hidráulica, en la Subgerencia de Administración del Agua y en la Subgerencia Técnica de la Gerencia Estatal en Hidalgo, en el área de diagnósticos y lineamientos de cuencas; y como secretario técnico en la Gerencia de Planeación Hidráulica de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Cuenta con el perfil deseable PRODEP de la SEP desde 2007 y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de interés en investigación son: técnicas multi-criterio, innovación tecnológica, planeación, evaluación de proyectos, simulación, desarrollo sustentable y prospectiva. Ha participado como conferencista y ponente en diversos foros académicos y de investigación y es autor o coautor de varios capítulos de libros, libros y artículos científicos y de divulgación.

[ORCID:](#)

[ResearchGate:](#)

[Google Academic:](#)

Oscar Montaña Arango

Doctor en ingeniería con especialidad en sistemas de planeación por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es Profesor-Investigador del Área

Académica de Ingeniería, Líder del Cuerpo Académico de Ingeniería en Sistemas Organizacionales y coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su línea de investigación es el análisis, diagnóstico y la planeación de sistemas. Ha publicado en diferentes revistas de impacto a nivel nacional e internacional. Ha trabajado para empresas como TAMSA, PEÑOLES, Snamprogetti SPA, Lincoln electric y como consultor en áreas de planeación y proyectos para entidades nacionales e internacionales.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Eva Selene Hernández Gress

Doctora en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. También posee una Maestría y Licenciatura en Ingeniería Industrial por el Tecnológico de Monterrey, donde actualmente está adscrita a la Escuela de Ingeniería y Ciencias y es colíder del Grupo de Investigación “Smart supply chain and Logistics”. Es Miembro Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores de CONAHCYT y pertenece a la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones. Sus principales líneas de investigación incluyen la programación matemática aplicada a problemas de ingeniería industrial y la ciencia de datos para analizar problemas sociales. Ha participado como revisor de diferentes revistas internacionales, ha sido evaluador de proyectos en CONAHCYT. Ha publicado recientemente estudios relevantes en revistas científicas, como un análisis sobre la demanda pico de agua para sistemas de suministro usando métodos semi-directos, un modelo de respuesta rápida para evacuación y distribución de ayuda en desastres y ha contribuido a la investigación sobre la tendencia creciente del feminicidio en México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8720-5997>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Eva-Hernandez-Gress-2>

Google Academic: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=8725WsYAAAAJ>

Rubén Calderón Andrade

Ingeniero Industrial graduado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Actualmente se desempeña como Jefe de Producción en Industrias ISAR, ubicada en Atizapán de Zaragoza, Estado de México. Su experiencia incluye roles previos como Jefe de Control de Calidad e Inspector de Calidad en diversas empresas mexicanas del sector calzado industrial. En el ámbito académico y profesional, Calderón Andrade se concentra en la investigación de la simulación para la mejora de la productividad, así como en la calidad y la mejora continua. Entre sus contribuciones más recientes a la literatura científica se encuentra un estudio de caso publicado en 2020 sobre la mejora de la productividad a través de la reingeniería y la simulación en la industria del calzado, en la revista *Applied Sciences*.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Alejandra Gómez Padilla

Profesora e investigadora titular del Departamento de Ingeniería Industrial del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Es ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO, México) y cuenta con una Maestría en Ciencias por la École Polytechnique de Montreal, Canadá. Obtuvo el grado de Doctorado en Ingeniería Industrial con especialidad en Logística por el Institut National Polytechnique de Grenoble en Francia. Tiene diversas contribuciones en congresos internacionales, artículos en revistas de reconocido prestigio, así como la autoría de capítulos de libros. Sus investigaciones se centran en optimización, cadena de suministro y logística.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Gustavo Erick Anaya Fuentes

Ingeniero industrial, Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial y Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial por parte de la UAEH. Es candidato a investigador nacional otorgado por el sistema nacional de investigadores periodo y cuenta con el perfil deseable PRODEP. Con respecto a su experiencia profesional a colaborado en los sectores metal-mecánico, textil, servicios informáticos e industria de los alimentos. Tiene una experiencia en docencia de 14 años a nivel superior. Ha sido editor invitado del boletín científico PADI-ICBI-UAEH además de revisor de revistas científicas indexadas en Latindex y Scopus. También ha sido coordinador de carrera, subjefe académico y coordinador de docencia en Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Antonio Oswaldo Ortega Reyes

Doctor en Ciencias Administrativas por el Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Administración por Universidad La Salle Pachuca, Maestro en Psicología Organizacional por la Universidad Tecnológica de México, Licenciado en Administración Pública por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Cuenta con diplomados que avalan su conocimiento y experiencia en desarrollo humano, desarrollo de competencias directivas, psicología organizacional y competencias docentes. Autor de diversos modelos, métodos y técnicas presentados como artículos, capítulos de libro y libros, como su última obra titulada *Cápsulas de Psicología Organizacional*. Es investigador reconocido por el Sistema Nacional de Investigadores, consultor y capacitador administrativo por más de 26 años en Hidalgo y centro de México. Es catedrático de posgrado en la Universidad de las Américas Puebla. Docente de Licenciatura, Maestría y Doctorado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo desde 1993 donde ha ocupado diversos cargos administrativos, de confianza y actualmente de investigación

ORCID:

ResearchGate:

Google Academic:

Santiago Omar Caballero Morales

Doctor en Ciencias Computacionales por la Universidad de East Anglia (Reino Unido). Obtuvo maestrías en Administración de la Manufactura e Ingeniería Industrial, una especialidad en Producción y Logística, y la licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones en la Universidad de las Américas Puebla (México). Se ha desempeñado como Coordinador del Cuerpo Académico de Planeación de Sistemas Logísticos y profesor investigador de tiempo completo de diversas asignaturas en licenciatura y posgrado en la Facultad de Logística e Industrial de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). En la actualidad es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de CONACYT, y realiza investigaciones sobre optimización y sustentabilidad de las operaciones en la cadena de suministro, simulación de procesos industriales, inteligencia artificial e interacción humano-robot. Ha publicado en diversas revistas internacionales indexadas en el *Journal Citation Reports* del *Web of Science*, Scopus, y EBSCO.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9986-7768>

ResearchGate:

Google Academic:

Diana Sánchez-Partida

Profesora Investigadora del Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) en México. Ha publicado más de 161 artículos científicos, es autora y editora de dos libros *Disaster Risk Reduction in Mexico* y *Humanitarian Logistics in the Disaster Risk Reduction Perspective*, ambos con editorial Springer. Actualmente, galardonada con el Premio Nacional en Logística “Galardón Tameme 2023”. Es la líder del Cuerpo Académico de

Logística Humanitaria y Resiliencia en los Diferentes Sectores Económicos. Se graduó del doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Ha recibido becas de doctorado y posdoctorado por CONACyT. Desde el 2018 es miembro del Consejo Nacional de Investigadores de México, actualmente, tiene el nombramiento de SNI Nivel 2. Sus áreas de investigación y de interés son Reducción del Riesgo de Desastres, Logística Humanitaria, Resiliencia en Actividades Económicas y en las Operaciones Logísticas, Planeación de la Producción, Optimización, Gestión de Almacenes e Inventarios, entre otras.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5771-1362>

[ResearchGate:](#)

[Google Academic:](#)

José Luis Martínez Flores

Profesor investigador titular en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). El Dr. José Luis realiza investigación en los campos de Matemática Aplicada, Ingeniería de Software y Computación en Matemáticas, Ciencias Naturales, Ingeniería y Medicina. Su proyecto actual es “Modelado y Optimización de Procesos Logísticos”.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2986-469X>

[ORCID:](#)

[ResearchGate:](#)

[Google Academic:](#)

María del Rosario Sánchez Vega

Maestra en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP).

[ORCID:](#)

[ResearchGate:](#)

[Google Academic:](#)

Innovación organizacional y sostenibilidad: Estrategias para el crecimiento de las PYMES en México

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	dgsa.uaeh.edu.mx:8080 Internet	1268 palabras — 3%
2	acacia.org.mx Internet	756 palabras — 2%
3	revistasipgh.org Internet	309 palabras — 1%
4	igomeze.blogspot.com Internet	109 palabras — < 1%
5	www.uaeh.edu.mx Internet	104 palabras — < 1%
6	investigacion.upaep.mx Internet	85 palabras — < 1%
7	hdl.handle.net Internet	60 palabras — < 1%
8	www.bancomundial.org Internet	56 palabras — < 1%
9	wp.eleconomista.com.mx Internet	53 palabras — < 1%

10	cau.upaep.mx Internet	50 palabras — < 1%
11	agua.org.mx Internet	33 palabras — < 1%
12	dialnet.unirioja.es Internet	31 palabras — < 1%
13	centrodeconocimiento.ccb.org.co Internet	26 palabras — < 1%
14	www.saludvital.cl Internet	24 palabras — < 1%
15	Diana Sánchez-Partida, José-Luis Martínez-Flores, Santiago-Omar Caballero-Morales, Patricia Cano-Olivos. "Disaster Risk Reduction in Mexico", Springer Science and Business Media LLC, 2021 Crossref	23 palabras — < 1%
16	laeducacion.us Internet	23 palabras — < 1%
17	idus.us.es Internet	21 palabras — < 1%
18	juna.ulbi.ac.id Internet	21 palabras — < 1%
19	www.actauniversitaria.ugto.mx Internet	21 palabras — < 1%
20	www.pensionpolicyinternational.com Internet	20 palabras — < 1%

21	Internet	19 palabras — < 1%
22	www.scielo.org.mx Internet	18 palabras — < 1%
23	produccioncientificaluz.org Internet	17 palabras — < 1%
24	rcs.cic.ipn.mx Internet	17 palabras — < 1%
25	repositorio.uceva.edu.co Internet	17 palabras — < 1%
26	rperiplo.uaemex.mx Internet	16 palabras — < 1%
27	www.theibfr.com Internet	16 palabras — < 1%
28	bibdigital.epn.edu.ec Internet	15 palabras — < 1%
29	es.wikipedia.org Internet	15 palabras — < 1%
30	www.somoshalcones.com Internet	15 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

DESACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS