

Optimización, sustentabilidad y políticas públicas: un enfoque robusto

Dedicado al Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina



Coordinadores

Alejandra Flores Sánchez
José Luis López Galván
Miguel Ángel Hernández Rivera

Gilberto Orrantia Daniel
German Alonso Ruiz Domínguez
Lorena Graciela Alvarado Coronado
Tania Guadalupe Ramos García
Diego Adiel Sandoval Chávez
Eduardo Rafael Poblano Ojinaga
Julio César Gómez Salazar
Carlos Jesús González Macías
Luz Isaura Rodríguez
Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Jorge Adolfo Pinto Santos
Gabriela Fuentes
Octavio García Alarcón
Adán Valles Chávez
Mario Macario Ruíz Grijalva
Hermenegildo Lagarda Leyva
Jeovany Rafael Rodríguez Mejía
Ricardo Olivares Rodríguez
Aida Yadira Reyes Escalante
María Luisa López Roa
Rigoberto Reyes Valenzuela
Raúl Torres Roa

Optimización, sustentabilidad y políticas públicas: un enfoque robusto

ISBN México (CENID): 978-607-8830-24-4

ISBN España (AEVA): 978-84-09-52252-1

DOI: <https://doi.org/10.23913/9786078830244>

Primera edición, 2023 Todos los derechos reservados.

© 2023, **coordinadores**. Alejandra Flores Sánchez, José Luis López Galván, Miguel Ángel Hernández Rivera

© 2023, **autores**. Gilberto Orrantia Daniel, German Alonso Ruiz Domínguez, Lorena Graciela Alvarado Coronado, Tania Guadalupe Ramos García, Diego Adiel Sandoval Chávez, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Julio César Gómez Salazar, Carlos Jesús González Macías, Luz Isaura Rodríguez, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Jorge Adolfo Pinto Santos, Gabriela Fuentes, Octavio García Alarcón, Adán Valles Chávez, Mario Macario Ruíz Grijalva, Hermenegildo Lagarda Leyva, Jeovany Rafael Rodríguez Mejía, Ricardo Olivares Rodríguez, Aida Yadira Reyes Escalante, María Luisa López Roa, Rigoberto Reyes Valenzuela, Raúl Torres Roa.

Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores. Esta obra cumple con el requisito de evaluación por dos pares de expertos.

Edición y diagramación: Orlanda Patricia Santillán Castillo.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC es miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Socio #3758.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra mediante algún método sea electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación o almacenamiento de información), sin el consentimiento por escrito del editor.

Indexación de datos

Bases de datos en las que Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C. está indexada: Dialnet (Universidad de la Rioja).

© 2023 Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC Pompeya # 2705. Colonia Providencia C.P. 44670 Guadalajara, Jalisco. México
Teléfono: 01 (33) 1061 8187 Registro Definitivo Reniecyt No.1700205 a cargo de Conacyt.

© 2023 Editorial de la Asociación Científica para la Evaluación y Medición de los Valores Humanos c/ de les cases sert nº 11, C.P. 08193, Bellaterra – Cerdanyola del Vallés (Barcelona). CENID y su símbolo identificador son una marca comercial registrada.
Impreso en México / Printed in México

Si desea publicar un libro o un artículo de investigación contáctenos.

www.cenid.org

redesdeproduccioncenid@cenid.org



Editorial Cenid

Índice

Reseña

Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina5

Cadena de suministro de ciclo cerrado en la industria manufacturera automotriz. Una revisión sistemática de la literatura.

Tania Guadalupe Ramos García

Diego Adiel Sandoval Chávez

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga.....7

La sustentabilidad social de parques urbanos: una revisión sistemática de la literatura.

Ricardo Olivares Rodríguez

Diego Adiel Sandoval Chávez

Aida Yarira Reyes Escalante.....25

Implementación de las siete herramientas administrativas en una obra de construcción de viviendas.

Gilberto Orrantia Daniel

Germán Alonso Ruiz Domínguez

Lorena Graciela Alvarado Coronado.....38

Costos de calidad en una compañía de proceso continuo. Un estudio de caso de seguimiento y confirmación.

Diego Adiel Sandoval Chávez

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga.....59

Revisión sistemática de literatura sobre el uso del transporte público: experiencia, violencia y percepción del miedo a la victimización.

Julio César Gómez Salazar

Diego Adiel Sandoval Chávez

Carlos Jesús González Macías.....73

Aprovechando la inteligencia artificial como herramienta metodológica para la optimización del proceso de deshidratación de tomate.

Gabriela Fuentes

Octavio García Alarcón

Adán Valles Chávez.....92

Impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria.

María Luisa López Roa

Rigoberto Reyes Valenzuela

Raúl Torres Roa..... **107**

Maker-space principio de un modelo de aprendizaje acelerado.

Mario Macario Ruiz Grijalva

Hermenegildo Lagarda Leyva

Jeovany Rafael Rodríguez Mejía

Jorge Adolfo Pinto Santos..... **121**

Modelación bayesiana para la remanufacturación y reutilización de recursos en una línea de productos de impresión

Luz Isaura Rodríguez Aguilar

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Ericka Berenice Herrera Ríos..... **136**

Reseña

Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Destacado Ingeniero Químico con una impresionante trayectoria académica y profesional. Su formación académica comenzó en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde obtuvo su título de Ingeniero Químico. Sin embargo, su búsqueda constante de conocimiento lo llevó a obtener una Maestría y un Doctorado en Ciencias en Ingeniería Industrial en la División de Estudios de Posgrado en Investigación del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

Es reconocido por su destacada labor como investigador y académico. Ha contribuido significativamente al campo de la ingeniería industrial a través de la publicación de más de 35 artículos en revistas nacionales e internacionales, los cuales han sido aprobados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Este logro le permitió ingresar al prestigioso Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en el nivel 1.

Con una destacada experiencia de 45 años en la Educación Superior Tecnológica, el Dr. Rodríguez Medina ha impartido sus conocimientos en el área de Ingeniería Industrial, con especial énfasis en temas como estadística, control de calidad, diseño de experimentos, confiabilidad, estadística Bayesiana e Investigación de Operaciones, entre otros. Su dedicación y pasión por la enseñanza se refleja en el número de profesionales que ha titulado a lo largo de su carrera: más de 259 ingenieros, 130 Maestros en Ciencias y 11 Doctores han sido guiados por su expertise.

Además de su labor en el ámbito académico, el Dr. Rodríguez Medina ha sido un capacitador y consultor activo en la Industria Maquiladora en Ciudad Juárez, Chihuahua, durante 34 años. Su amplio conocimiento en normatividad, como la ISO 9001:2015 y la IATF 16849, así como en control de calidad, auditoría de calidad, estadística y diseño de experimentos, lo ha convertido en un recurso invaluable para las empresas en busca de mejoras y excelencia en sus procesos.

En resumen, el Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina es un destacado Ingeniero Químico con una sólida formación académica y una amplia experiencia en la educación superior tecnológica, la investigación y la consultoría industrial. Su compromiso con la excelencia y su contribución al avance de la ingeniería industrial lo convierten en una figura respetada y admirada en su campo.

Optimización, sustentabilidad y políticas públicas: un enfoque robusto

Coordinadores

Alejandra Flores Sánchez
José Luis López Galván
Miguel Ángel Hernández Rivera

Autores

Gilberto Orrantia Daniel
German Alonso Ruiz Domínguez
Lorena Graciela Alvarado Coronado
Tania Guadalupe Ramos García
Diego Adiel Sandoval Chávez
Eduardo Rafael Poblano Ojinaga
Julio César Gómez Salazar
Carlos Jesús González Macías
Luz Isaura Rodríguez
Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Jorge Adolfo Pinto Santos
Gabriela Fuentes
Octavio García Alarcón
Adán Valles Chávez
Mario Macario Ruíz Grijalva
Hermenegildo Lagarda Leyva
Jeovany Rafael Rodríguez Mejía
Ricardo Olivares Rodríguez
Aida Yadira Reyes Escalante
María Luisa López Roa
Rigoberto Reyes Valenzuela
Raúl Torres Roa

Cadena de suministro de ciclo cerrado en la industria manufacturera automotriz. Una revisión sistemática de la literatura

*Closed-loop supply chain in the automotive manufacturing industry.
A systematic review of the literature*

Tania Guadalupe Ramos García

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez
tania.rg01@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0006-5460-5357>

Diego Adiel Sandoval Chávez

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez
dsandoval@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2536-1844>

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez
eduardo.po@cdjuarez.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

RESUMEN

La cadena de suministro de ciclo cerrado es un enfoque que busca minimizar el desperdicio —desde el primer eslabón (extracción de la materia prima) hasta el último (final de la vida útil de un producto)— e implementar estrategias para reducir, reutilizar, reciclar y recuperar el mayor material posible y reintegrarlo de nuevo al ciclo productivo. Este es un término que surgió hace apenas dos décadas, y su estudio puede ayudar a las empresas manufactureras a cerrar su cadena de suministro directa e inversa. A lo largo de este documento, se presentan los pasos y el resultado de un análisis longitudinal en un periodo de 19 años. En total se encontraron 84 artículos sobre la cadena de suministro de ciclo cerrado, específicamente en el contexto de la industria manufacturera automotriz. La revisión incluye publicaciones en español e inglés que se seleccionaron luego de la búsqueda y cribado en varias bases de datos especializadas como ScienceDirect, Dimensions.ai y Redalyc. Se espera que los resultados de esta revisión sean una pauta para continuar con el estudio de la temática propuesta.

Palabras clave: cadena de suministro de ciclo cerrado, industria manufacturera automotriz, economía circular.

SUMMARY

The closed-loop supply chain is an approach that aims to minimize waste, from the first link, which is the extraction of raw materials, to the last, which is the end of a product's useful life, it also seek to implement strategies to reduce, reuse, recycle and recover as much material as possible and reintegrate it to the possible extent back into the production cycle. It is a term that emerged just two decades ago, its study allow manufacturing companies to close their direct logistics and reverse logistics. Along this document, the steps and the results of a lon-

itudinal analysis that spanned a period of 19 years are presented. It was possible to identify 84 articles on how the literature has studied the closed-loop supply chain and specifically in the context of the automotive manufacturing industry. The review includes publications in Spanish and English that were selected after searching specialized databases such as ScienceDirect, Dimensions.ai, or Redalyc. It is expected that the results of this review will be a guideline to continue with the study on the subject matter. The document finalizes presenting the conclusions and recommendations derived from results.

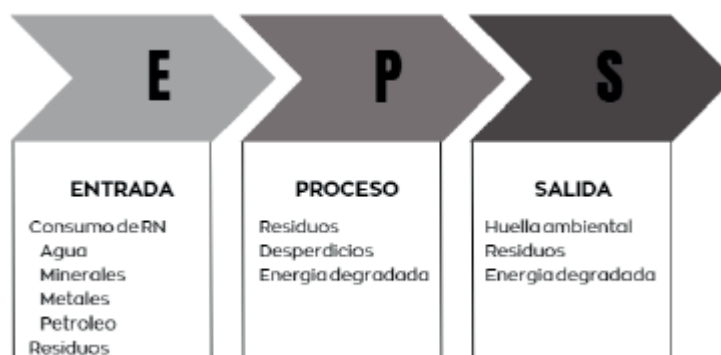
Keywords: Closed-loop supply chain, Automotive manufacturing industry, circular economy.

INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera (IM) es una de las más grandes del mundo (Chan *et al.*, 2012) y para mantenerse requiere de una ingente cantidad de recursos naturales (minerales, metales, combustibles fósiles, tierra y agua). Sin embargo, la escasez de estos plantea un desafío, de ahí que se deban buscar formas de minimizar su consumo empleando fuentes de energía renovable, reciclaje y reutilización (Bowen *et al.*, 2018; Panda *et al.*, 2020).

En el caso concreto de la industria manufacturera automotriz (IMA), esta ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo y en el progreso de la sociedad moderna (Maldonado *et al.*, 2021), pues ha generado fuentes de empleo y fomentado la innovación, atrayendo inversiones significativas en los lugares donde se establece (Shankar, 2017). No obstante, también afronta desafíos importantes en cada etapa de su proceso relacionados con las grandes cantidades de residuos y la energía que consume (Diabat *et al.*, 2013). En la figura 1 se representa gráficamente la problemática de la huella ecológica a la que se enfrenta la IMA.

Figura 1. Representación de la huella ecológica de la IMA vista como sistema



Fuente: Elaboración propia

La cadena de suministro en la IMA es una red compleja y global que involucra múltiples etapas y actores en la producción y entrega de vehículos completos. También es conocida como CS tradicional o lineal porque el flujo de los productos es unidireccional: desde los proveedores hasta los fabricantes y finalmente los consumidores (Bhatia y Jakhar, 2020).

En este modelo, los productos se consideran desechos al final de su vida útil y se descartan sin una consideración importante sobre su reutilización, reciclaje o recuperación. Por eso, lo

que se busca es reintegrar los materiales y componentes en nuevos ciclos de producción (Diabat *et al.*, 2013). En la literatura, el término *cadena de suministro de ciclo cerrado* (CSCC) es definido como “diseño, control y operación de un sistema que maximiza la creación de valor/beneficio durante todo el ciclo de vida de un producto con la recuperación dinámica del valor en diferentes tipos y volúmenes de núcleos a lo largo del tiempo” (Shekarian, 2020, p. 2). La CSCC es uno de los enfoques más prudentes hacia la sustentabilidad con miras a la continuidad y supervivencia de las empresas a largo plazo. Consta de dos etapas: el flujo directo tiene como objetivo asegurarse de que los bienes lleguen al usuario final en la cantidad adecuada, en buenas condiciones y en el momento adecuado; el flujo inverso permite que los productos regresen correctamente desde el punto de consumo hasta el punto de origen al proveedor, se reciclen de manera eficiente y eficaz, y se reabsorban en el proceso (Wong, 2007). En este contexto, cerrar el ciclo entre estas dos etapas es crucial para las empresas.

Con el fin de equilibrar la eficiencia de sus operaciones, las empresas deben incluir aspectos de sustentabilidad, ya que es importante que las organizaciones comprendan los impactos negativos de sus CS y puedan rediseñar sus operaciones para mitigar el impacto ambiental (Mathiyazhagan *et al.*, 2021). En países en vías de desarrollo como México, con una industria del reciclaje incipiente y no consolidada, es necesario mejorar la estructura y las actividades para enfrentar los desafíos y oportunidades que surgen de la creciente preocupación por los problemas ambientales (Cruz-Rivera y Ertel, 2008).

Por ende, el objetivo de este trabajo es presentar una revisión sistemática de literatura en la que se recopiló, analizó y sintetizó el conocimiento derivado de artículos científicos publicados sobre la CSCC en la industria manufacturera automotriz con el fin de precisar el vacío en torno a este tema. Las revisiones sistemáticas son útiles en muchos aspectos críticos, ya que pueden proporcionar una síntesis del estado del conocimiento en un área determinada, a partir de la cual se pueden identificar futuras prioridades de investigación. Este trabajo toma de referencia la guía *The preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses 2020* (PRISMA) para garantizar que sea una revisión sistemática valiosa (Page *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Siguiendo la metodología PRISMA, para identificar los estudios que permitieron analizar las prácticas que se han llevado a cabo de CSCC en la IMA, se establecieron criterios de elegibilidad específicos. Se determinó que solo se incluirían publicaciones en forma de artículos de investigación, revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios de caso. Esta selección garantiza la obtención de una base sólida de evidencia científica y un análisis exhaustivo del tema buscado.

En cuanto al idioma, se consideraron tanto los artículos escritos en español como en inglés, ya que son ampliamente utilizados en la comunidad científica, lo que permite una comprensión amplia y accesible de la información. Además, se definió el periodo de búsqueda para incluir documentos publicados desde el año 2000 hasta el mes de mayo de 2023. Este lapso permitió analizar la evolución de las prácticas de CSCC en la IMA a lo largo de los años y así comprender cómo han evolucionado y se han desarrollado.

En términos de formato de contenido, se estableció que los estudios seleccionados deben tener obligatoriamente un resumen (*abstract*), palabras clave, texto completo, conclusiones y fuentes de referencia. Estos elementos son fundamentales para comprender la relevancia y los hallazgos de los estudios, así como para tener acceso a información adicional y refe-

rencias bibliográficas para una revisión más exhaustiva.

Por último, se consideró importante tener una perspectiva global, por lo que se incluyeron estudios realizados en diversos países. Esto permitió obtener una visión amplia de las prácticas de la cadena de suministro de ciclo cerrado en diferentes contextos y regiones geográficas.

Para llevar a cabo la búsqueda de artículos, se utilizaron motores de búsqueda reconocidos, como ScienceDirect, Springer, Redalyc, Taylor and Francis, Dimensions y Google Scholar, ya que estas brindan acceso a una amplia gama de revistas científicas y ofrecen opciones avanzadas de búsqueda. Los resultados de la estrategia de búsqueda se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda para bases de datos

Motores de búsqueda académicos	Palabras clave
	<u>Español:</u>
	a. Cadena de suministro de ciclo cerrado (CSCC) – industria manufacturera automotriz (IMA) – manufactura – dimensiones (vector R _i): fabricación, innovación, reducir, reutilizar, reciclar, optimizar, medio ambiente, verde.
	b. Cadena de suministro de ciclo cerrado (CSCC) – industria manufacturera automotriz (IMA) – economía circular – dimensiones (vector EC _j): responsabilidad social empresarial, toma de decisiones, gerencia, rendimiento empresarial, gestión.
ScienceDirect, Springer, Redalyc, Taylor and Francis, Dimensions y Google Scholar.	c. Cadena de suministro de ciclo cerrado (CSCC) – industria manufacturera automotriz (IMA) – manufactura – economía circular.
	<u>Inglés:</u>
	a. Closed-Loop Supply Chain (CLSC) – Automotive Manufacturing Industry (AMI) – Manufacturing – Dimensions (vector R _i): innovation, reduce, reuse, recycle, optimize, environment, green.
	b. Financial management (CLSC) – Automotive Manufacturing Industry (AMI) – Circular Economy – Dimensions (vector CE _j): corporate social responsibility, decision-making, managerial, business performance, management.
	c. Closed-Loop Supply Chain (CLSC) – Automotive Manufacturing Industry (AMI)– Manufacturing – Circular Economy.

Fuente: Elaboración propia

La ecuación de búsqueda resultante se hizo en idioma español e inglés, y se expresó de la siguiente forma:

a. Español

**[CSCC AND IMA AND (Manufactura OR R_i)] OR
[CSCC AND IMA AND (Economía Circular OR P_i)] OR
[CSCC AND IMA AND (Manufactura OR R_i) AND (Economía Circular OR EC_i)]**

b. Inglés:

**[CLSC AND AMI AND (Manufacturing OR R_i)] OR
[CLSC AND AMI AND (Circular Economy OR CE_i)] OR
[CLSC AND AMI AND (Manufacturing OR C_i) AND (Circular Economy OR CE_i)]**

En el proceso de selección de estudios, se siguieron los criterios de cribado y elegibilidad. Los estudios identificados previamente en el paso anterior se sometieron a una revisión inicial de títulos y resúmenes para descartar aquellos que claramente no abordaban el tema objetivo. Luego, se procedió a la evaluación de la elegibilidad, en donde se analizó en detalle el contenido completo de los estudios restantes. Se aplicaron criterios de inclusión establecidos previamente, como la temática, el enfoque y la inclusión de datos y resultados relevantes. Los estudios que no cumplían con los criterios de elegibilidad fueron excluidos. En cada etapa del proceso, se siguieron las directrices establecidas para garantizar una selección objetiva y rigurosa de los estudios que proporcionaran una base sólida para la revisión sistemática.

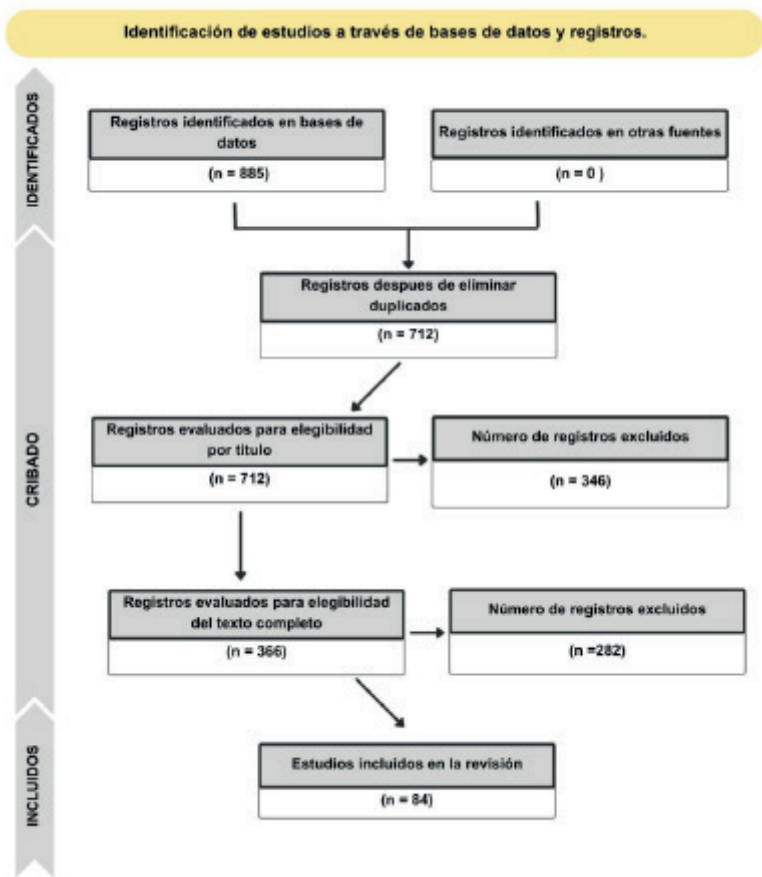
Se diseñó un formulario de extracción de datos que incluía campos relevantes para la investigación. Se completó este formulario para cada uno de los estudios incluidos en la revisión, extrayendo la información correspondiente de las publicaciones seleccionadas. Se realizó la revisión detallada de cada estudio para asegurar la precisión y consistencia en la extracción de los datos. La aplicación de esta herramienta facilitó una estructura clara y sistemática para la extracción de datos, lo que garantizó que se recabara información relevante y necesaria para el análisis posterior.

RESULTADOS

En la figura 2 se muestran los resultados de los criterios utilizados para la selección de los estudios siguiendo el flujo del diagrama de la metodología PRISMA. Este diagrama proporciona una representación visual de las etapas de la revisión sistemática, desde la identificación inicial de los estudios hasta la selección final de los artículos incluidos en el análisis.

Después de aplicar los criterios de selección en las bases de datos, se encontró un total de 885 artículos relevantes para el estudio. Estos artículos estaban distribuidos en diferentes bases de datos según el siguiente orden: 405 en Dimensions.ai, 169 en ScienceDirect, 94 en Redalyc, 89 en Google Scholar, y 54 en Taylor and Francis. Tras eliminar 172 artículos duplicados en la primera etapa de cribado, se consideraron 712 para la siguiente fase de revisión. Durante la segunda etapa de cribado, se evaluaron los títulos, resúmenes y palabras clave de los 712 artículos, y se descartaron 346 que no estaban relacionados con la investigación. A pesar de los esfuerzos por delimitar la búsqueda, algunos artículos no abordaban directamente el tema deseado. En la fase final de la investigación, se realizó una evaluación exhaustiva de los 366 artículos obtenidos en texto completo. Se encontró que 192 de ellos mencionaban IMA y CSCC, pero desde un enfoque diferente, mientras que 90 artículos se centraban únicamente en vehículos al final de su vida útil (VFU), por lo que también fueron descartados por no ajustarse a los temas centrales de interés.

Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA 2020



Fuente: Elaboración propia basada en la metodología PRISMA 2020

Después de las etapas de cribado, los estudios incluidos en la revisión final fueron 84. Se obtuvo información específica de cada uno para el trabajo de investigación, la cual se presenta de forma breve en la tabla 2. Luego se presenta el análisis de cada artículo, por lo cual se procede a citar el número que se encuentra en la primera columna de la tabla 2 para hacer referencia al autor y estudio.

Tabla 2. Artículos incluidos en la revisión

#	Autor + año	Enfoque	País	Contribución
1	Özceylan (2017)	FVU	Turquía	Modelo matemático para red de CSI en Turquía.
2	Udoncy (2010)	FVU	Malasia	Enfoque novedoso para evaluar rendimiento de C-SCC automotriz.
3	Bhattacharyya (2018)	FVU	India	Optimización de CLSC en la industria automotriz india.
4	Chan (2012)	FVU	NE	Viabilidad de reutilizar partes en autos al final de su vida útil.
5	Cin (2017)	REV LIT	NE	Diseño de redes logísticas para reciclaje de ELV. Tendencias y métodos.
6	Shekarian (2020)	REV LIT	NE	Contribución valiosa sobre cadenas cerradas y economía circular.
7	Modak (2023)	REV LIT	NE	Visión completa sobre reutilización y reciclaje en cadena de suministro.
8	Ghasemzadeh (2021)	MANUFACTURA	Irán	Formulación MILP para optimizar cadena de suministro cerrada
9	He (2020)	REV LIT	NE	Visión general de logística inversa de ELVs.
10	Mohamad-Ali (2019)	FVU	Malasia	Planes de acción para reciclaje de vehículos en Malasia.
11	Udoncy (2012)	MANUFACTURA	Malasia	Desarrollo de sistema de evaluación del desempeño en CLSC automotriz.
12	Diabat (2013)	MANUFACTURA	N/A	Implementación de prácticas de GSCM en países en desarrollo.
13	Kaviani (2020)	MANUFACTURA	Irán	Barreras para logística inversa en industria automotriz iraní.
14	Ravi (2017)	MANUFACTURA	NE	Variables de logística inversa en industria automotriz.
15	Gopala (2016)	MANUFACTURA	India	Vinculación teorías organizacionales, sostenibilidad y automotriz. Factores críticos de éxito.
16	Agrawal (2020)	MANUFACTURA	India	Importancia CE en industria automotriz india. Obstáculos y soluciones.
17	Singh (2020)	MANUFACTURA	India	Barreras en implementación de CLSC. Soluciones y recomendaciones.
18	Ravi (2005)	MANUFACTURA	NE	Obstáculos en logística inversa en la industria automotriz. Soluciones estratégicas.
19	Chhabra (2017)	MANUFACTURA	India	Prácticas verdes en la industria automotriz: beneficios y recomendaciones.
20	Hendiani (2020)	MANUFACTURA	NE	Evaluación sostenibilidad en empresas manufactureras con lógica difusa.
21	Balon (2016)	MANUFACTURA	India	Barreras de GSCM en industria automotriz india: Modelo ISM.
22	Zailani (2017)	MANUFACTURA	Malasia	Barreras de la gestión de devoluciones de productos en la industria automotriz en Malasia.
23	Gonzalez (2010)	MANUFACTURA	España	Barreras de logística inversa en la industria automotriz y su impacto ambiental.

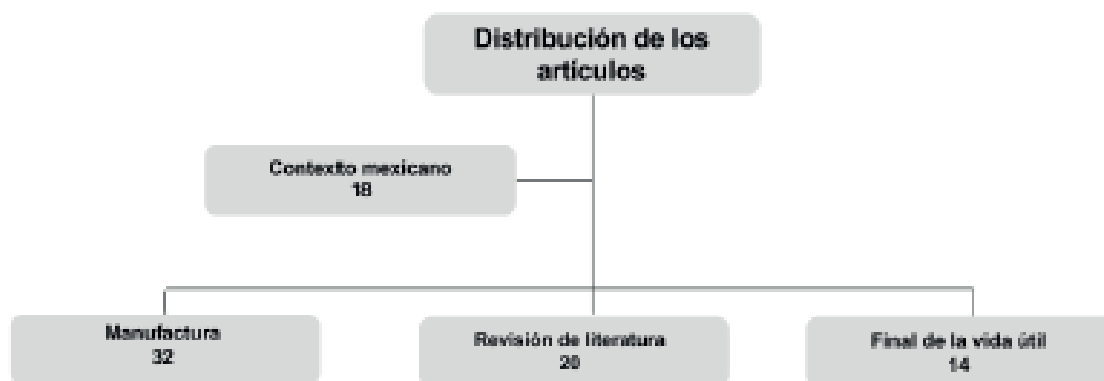
24	Kumar (2006)	FVU	Japón	Importancia de cadenas de suministro inversas sostenibles en automotriz
25	Shu (2012)	REV LIT	NE	Revisión de literatura sobre cadena de suministro cerrada con remanufactura
26	Wang (2015)	MANUFACTURA	China	Desarrollo de prácticas de fabricación sostenible en empresas chinas de autopartes.
27	Udoncy (2011)	MANUFACTURA	NE	Desarrollo de medidas clave de desempeño para una cadena de suministro verde en la industria automotriz.
28	González (2021)	CONTEXTO MEX	México	Importancia de capacidades productivas, políticas gubernamentales y sostenibilidad para el desarrollo de la industria automotriz.
29	Rodríguez (2022)	CONTEXTO MEX	México	Relación CE, SSCM y desempeño financiero en industria automotriz.
30	Carbajal (2014)	CONTEXTO MEX	México	Impacto del TLCAN en la industria automotriz en México
31	Mendoza (2011)	CONTEXTO MEX	México	Dependencia de México en el sector automotriz de EE. UU.
32	Covarrubias (2017)	CONTEXTO MEX	México	Certificaciones ambientales impulsan prácticas sostenibles en industria automotriz.
33	Gu (2021)	FVU	China	Modelo de cadena de suministro cerrada de baterías de VE y análisis de subsidios.
34	Basurto (2013)	CONTEXTO MEX	México	México en la industria automotriz mundial: desafíos y oportunidades.
35	Alvarez-Aros (2018)	CONTEXTO MEX	México	Innovación y competitividad en industria automotriz mexicana.
36	Hernández (2011)	REV LIT	NE	Implementación de cadenas de suministro sostenibles y cerradas.
37	Udoncy (2011)	FVU	Asia	Metodología difusa para evaluar logística inversa en vehículos reciclados.
38	Abbasi (2023)	MANUFACTURA	Irán	Modelo GCLSCN para gestionar la cadena durante covid-19.
39	Vaquera (2016)	CONTEXTO MEX	México	Tecnología clave para sostenibilidad en cadena de suministro.
40	Dalma (2020)	REV LIT	NE	Revisión sistemática destaca sostenibilidad en industria automotriz.
41	Vanalle (2017)	MANUFACTURA	Brasil	Adopción de prácticas verdes mejora desempeño en cadena automotriz.
42	Maldonado (2021)	CONTEXTO MEX	México	Gestión verde mejora desempeño y competitividad en automotriz.
43	Drohomeretski (2014)	MANUFACTURA	Brasil	Motivaciones, barreras y prácticas de GSCM en automotriz. Marco evaluación.
44	Qinghua (2007)	MANUFACTURA	China	Desafíos y prácticas de GSCM en automotriz china. Relaciones presiones-adaptación.
45	Anvari (2023)	REV LIT	NE	Categorización y conexión entre GSCM, CLSC y RSCM. Interrelaciones identificadas.
46	Crotty (2006)	FVU	Reino Unido	Impacto limitado de la Directiva ELV en cadena suministro. Necesidad colaboración y concienciación.
47	Virmani (2020)	MANUFACTURA	India	Barreras a la sostenibilidad en pymes automotrices en India.
48	Nag (2021)	MANUFACTURA	India	Economía circular en la industria automotriz india.
49	Vicencio (2007)	CONTEXTO MEX	México	Evolución y retos de la industria automotriz mexicana.
50	Campos (2021)	CONTEXTO MEX	México	Posición de la industria automotriz mexicana y su impacto medioambiental.
51	Wei (2014)	REV LIT	NE	Aspectos clave para investigaciones en logística inversa de vehículos al final de su vida útil (ELV).
52	González-Sánchez (2020)	REV LIT	NE	Contribución teórica y práctica de un modelo de cadenas de suministro circulares.
53	Schultmann (2006)	FVU	Alemania	Importancia de algoritmos flexibles y análisis de escenarios en logística inversa.
54	Ahmed (2020)	MANUFACTURA	Bangladesh	Barreras y enfoque para implementar una CLSC automotriz en Bangladesh.
55	Yıldızbaşı (2018)	MANUFACTURA	Turquía	Modelo integrado de CLSC para optimización de producción y distribución.

56	Akçali (2009)	REV LIT	NE	Panorama crítico y áreas de investigación en diseño de redes para recuperación de productos.
57	Ene (2015)	FVU	NE	Modelo de red de logística inversa para vehículos usados.
58	Chavez (2018)	CONTEXTO MEX	México	Economía y sostenibilidad de cadena circular para PET automotriz.
59	Wu (2022)	FVU	China	Precios, consumidores y rentabilidad en reciclaje de baterías automotrices.
60	Zhou (2022)	MANUFACTURA	NE	Factores verdes en remanufactura y CLSC: estrategias y rentabilidad.
61	Khota (2019)	REV LIT	NE	Prácticas de gestión sostenible en automotriz india.
62	Maldonado (2020)	CONTEXTO MEX	México	RSE, eco-innovación y rendimiento sustentable en automotriz mexicana.
63	Uriarte-Miranda (2018)	CONTEXTO MEX	México	Modelo conceptual de logística inversa para neumáticos en México y Rusia.
64	Govindan (2014)	REV LIT	NE	Guía para futura investigación en Logística Inversa y CLSC.
65	Cruz-Rivera (2009)	CONTEXTO MEX	México	Mejora de la gestión de la cadena de suministro inversa y reciclaje en México.
66	Trang (2023)	REV LIT	NE	Revisión sistemática identifica brechas y orienta futuras investigaciones logística inversa de vehículos ELV.
67	Shah (2012)	FVU	Malasia	Recomendaciones para mejorar la cadena de suministro inversa automotriz.
68	Mathiyazhagan (2021)	REV LIT	NE	Revisión exhaustiva de gestión de cadena inversa. Guía para empresas e investigadores.
69	Marcos (2021)	REV LIT	NE	Incertidumbre en cadena de suministro de baterías de ion-litio. Desafíos y recomendaciones.
70	Guersola (2018)	REV LIT	NE	Revisión sistemática del rendimiento de la cadena de suministro. Direcciones futuras.
71	Rodriguez (2017)	REV LIT	NE	Revisión literatura sostenibilidad e innovación en automotriz. Oportunidades investigación.
72	Pozo (2015)	MANUFACTURA	Brasil	Gestión Cadena Suministro Verde en automotriz. Prácticas, marco investigación.
73	Priya (2017)	MANUFACTURA	India	Influencia multinacionales en SSCM local. Capacidades dinámicas, adaptación Y prácticas.
74	Mathivathanana (2018)	REV LIT	NE	Prácticas inversas en industria automotriz India. Sostenibilidad y ventaja competitiva.
75	Pahlevan (2021)	MANUFACTURA	Irán	Modelo sostenible, responsabilidad social, eficiencia en metaheurísticas, materiales reciclados.
76	Gopala (2016)	MANUFACTURA	India	Prácticas sostenibles, impacto en rendimiento, cadena suministro automotriz India.
77	Sahebjamnia (2018)	MANUFACTURA	NE	Diseño cadena suministro neumáticos sostenible, algoritmos híbridos eficientes.
78	Kumar (2007)	FVU	Japón	Regulación VFV en Japón, cadena suministro inversa, sostenibilidad.
79	Singh (2021)	MANUFACTURA	India	IPV, sostenibilidad, marco de implementación, OCTM, aprendizaje organizacional.
80	Rodriguez (2022)	CONTEXTO MEX	México	Ecoinnovación, estrategias verdes, sostenibilidad, cadena de suministro, industria automotriz, México.
81	Dyckhoff (2004)	MANUFACTURA	NE	Modelo "doble capa de bucle cerrado", sistemas circulares, reciclaje de residuos, industria automotriz.
82	Luthra (2016)	REV LIT	NE	Factores críticos de éxito (FCE), Gestión de la Cadena de Suministro Verde (GSCM), industria automotriz, India.
83	Covarrubias (2011)	CONTEXTO MEX	México	Cambios en la demanda, adaptación corporativa, industria automotriz mexicana, inversión extranjera, políticas industriales.
84	García (2020)	CONTEXTO MEX	México	Industria automotriz mexicana, impacto económico, análisis SAM, políticas públicas, exportaciones, multiplicadores de impacto, empleo.

Fuente: Elaboración propia

Se decidió clasificar los artículos en cuatro categorías para analizarlos mejor. La categorización se presenta en la figura 3.

Figura 3. Distribución de los artículos



Fuente: Elaboración propia

Contexto mexicano

La industria automotriz ha experimentado un crecimiento significativo a lo largo de los años. Por ejemplo, (49) realizó un análisis exhaustivo de la industria automotriz en México, donde abordó su evolución histórica, situación actual y perspectivas para mantener su competitividad a nivel internacional; además, propuso medidas tendientes a fortalecer esta industria y enfrentar desafíos globales. Por otro lado, (83) se centró en examinar la respuesta de las empresas automotrices en México ante la crisis, para lo cual se enfocó en estrategias de productos y mercado, y destacó la relevancia de la inversión estadounidense y la producción de vehículos eficientes, lo que posiciona a México como un activo estratégico en América del Norte. Asimismo, (34) llevó a cabo una investigación descriptiva y analítica sobre la industria automotriz a nivel mundial y el papel de México en este contexto; su análisis consideró el impacto del tratado de libre comercio (TLCAN) y las perspectivas en la región Asia-Pacífico. Finalmente, (28) analizó la reestructuración global de la industria automotriz y su impacto en México; al respecto, destaca la necesidad de implementar políticas integrales que promuevan la educación, la innovación y el desarrollo sustentable en este sector.

Por otra parte, (31) analizó el impacto de la crisis automotriz estadounidense en el subsector automotriz y de camiones mexicano, y encontró una correlación positiva a largo plazo y un impacto significativo a corto plazo en las exportaciones y la producción mexicanas. (35) halló que la innovación organizacional se correlaciona positivamente con la competitividad interna en la industria mexicana de autopartes. (30) efectuó un estudio analítico y descriptivo centrado en el desempeño del sector automotriz mexicano durante las últimas dos décadas bajo el TLCAN; su análisis incluye variables como la población ocupada, la producción y la participación en el mercado internacional. Por otro lado, (50) realizó indagó en la inserción de México en la cadena de valor automotriz; sobre esto, señala su baja contribución al PIB y el alto impacto ambiental debido a la especialización en tareas de producción; en su estudio, sugieren la implementación de tecnologías más eficientes para reducir el impacto ambiental

de este sector. (32) analizó el papel de las regulaciones ambientales y los mercados en la innovación ambiental en el sector automotriz mexicano. La certificación ISO 14001 cataliza prácticas de protección ambiental en la manufactura, pero las regulaciones gubernamentales limitan la transición hacia vehículos más amigables, por lo que se recomiendan políticas ambientales y autos alternativos.

En otro trabajo, (65) propuso una red de logística inversa eficiente para recolectar vehículos al final de la vida útil (VFVU) en México con el objetivo de maximizar la recuperación de valor y analizar los costos en la CS. Por otro lado, (39) revisó las prácticas verdes y políticas de reciclaje de VFVU en la industria automotriz; para ello, se enfocó en tres fabricantes de automóviles en México y sus acciones ecológicas. Además, (63) desarrollaron un modelo conceptual de logística inversa (LI) para el manejo de residuos de llantas en México y Rusia, considerando estrategias de LI de otros países. También, (58) evaluaron la viabilidad y sustentabilidad de una CSCC para reciclar asientos de PET en México, con lo cual demostraron su rentabilidad y la reducción de la huella de carbono en el proceso. (29) encontraron que las estrategias verdes y las innovaciones ambientales a través de CS sustentables también tienen un impacto positivo en el desempeño financiero sostenible de la industria automotriz mexicana. Además, (84) evaluaron el impacto de la industria automotriz en la economía mexicana utilizando matrices de contabilidad para la evaluación del efecto de la industria automotriz en la economía mexicana. (62) encontraron que la responsabilidad social empresarial tiene efectos positivos en la ecoinnovación, lo que a su vez influye en el rendimiento sustentable de las empresas automotrices en México. (42) también revisaron la situación al encontrar una correlación positiva del 47.6 % entre la gestión de la cadena de suministro verde y el desempeño de la industria automotriz mexicana en términos de compromiso ambiental y uso de materiales reciclados en productos verdes, lo que complementa y sugiere un aumento en la cooperación. (80) encontraron que las prácticas de economía circular a través de la GSCS tuvieron un impacto positivo en el desempeño financiero de las empresas automotrices mexicanas.

Manufactura

En estos estudios, diversos investigadores han abordado aspectos importantes de la gestión de la CS en la industria automotriz. (8) propone una CSCC estocástica para el procesamiento de llantas de desecho en Irán, por lo que considera factores e incertidumbres globales, utilizando un modelo de optimización para aumentar las ganancias y reducir el impacto ecológico. (27) presentan un conjunto integral de medidas e indicadores recomendados por expertos para evaluar las cadenas de suministro automotrices. (11) desarrollaron un sistema experto utilizando reglas difusas para evaluar el desempeño CSCC en la industria automotriz, identificar oportunidades de mejora y hacer recomendaciones para aumentar la eficiencia. (14) analizó la LI y destacó la importancia de la regulación para incentivar esta práctica. Por último, (21) utiliza la metodología modelado estructural interpretativo para analizar las barreras a la implementación de en la industria automotriz india, con lo cual proporciona un marco para mejorar su rendimiento.

El estudio realizado por (12) en un país en desarrollo analizó las prácticas y el desempeño de la cadena de suministro verde; destaca la importancia del diseño ambientalmente amigable, la colaboración con clientes y la logística inversa para mejorar la sustentabilidad. (13) desarrollaron un marco específico para la industria automotriz iraní, identificando barreras clave en la implementación de la logística inversa, como aspectos económicos y falta de

conocimiento. (18) examinó las barreras de la logística inversa en India y encontró 11 obstáculos significativos y cómo interactúan entre sí usando una metodología específica. (23) investigaron las barreras ambientales para la logística inversa en la industria automotriz española, resaltando la importancia del apoyo gubernamental y social para fomentar prácticas más sostenibles. Por último, (26) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de literatura sobre la cadena de suministro cerrada con remanufactura, donde identificaron temas importantes relacionados con la gestión y la técnica en futuras investigaciones.

Por otro lado, (15) examinó la implementación de prácticas de CS sostenible en India, e identificó 25 factores críticos para el éxito y cómo están relacionados mediante una metodología específica. (41) investigó la gestión verde en la CS automotriz brasileña a través de una encuesta a proveedores, y halló que las presiones institucionales afectan la adopción de prácticas verdes, con un impacto positivo en el rendimiento económico y ambiental. En el contexto brasileño, (43) realizó un estudio de caso en empresas automotrices, y detectó factores motivadores y barreras en la implementación de prácticas verdes como gestión ambiental, logística verde y diseño ecológico. Además, un estudio en China realizado por (44) destacó que las empresas automotrices enfrentan presiones para adoptar prácticas verdes, pero la implementación tiene resultados mixtos en el desempeño ambiental y económico, aunque hubo ejemplos exitosos en el caso de estudio. Por último, la revisión sistemática de (72) sobre sustentabilidad e innovación en la industria automotriz mostró que el sector está bien estructurado en términos de sustentabilidad e innovación en procesos, pero se requieren más innovaciones radicales para cumplir con los estándares ambientales.

En algunos estudios recientes, se ha analizado cómo la sustentabilidad ha sido abordada en la industria automotriz en tiempos desafiantes. (38) empleó un modelo matemático para diseñar una cadena de suministro cerrada y verde durante la pandemia de covid-19, optimizando aspectos económicos y ambientales, ya que la emergencia sanitaria afectó los costos y la sustentabilidad de la cadena. (47) identificó barreras para prácticas sustentables en pequeñas y medianas empresas automotrices en India, lo que representó implicaciones prácticas y políticas basadas en 22 barreras en cuatro categorías. Además, (48) examinó la adopción de principios circulares en empresas automotrices de la India, donde halló cuatro drivers principales para crear valor circular en la cadena de suministro. Por otro lado, (55) presentó un modelo de optimización de cadena de suministro de ciclo cerrado en la industria automotriz, enfocándose en minimizar costos totales del sistema mientras se abordan múltiples objetivos. Finalmente, (60) analizó cómo el comercio de emisiones de carbono, la innovación y los consumidores verdes influyen en las estrategias de remanufactura en la cadena de suministro de ciclo cerrado. Además, (75) destacó la importancia del reciclaje y la posibilidad de desarrollar una cadena de suministro circular en la industria del aluminio en Irán mediante modelos matemáticos y algoritmos para optimizar aspectos económicos, sociales y ambientales.

En la investigación sobre la industria automotriz en India, (17) identificó 22 obstáculos para implementar la CSCC y ofreció estrategias para superarlos. Además, (76) encontró que las prácticas de gestión de la cadena de suministro sostenible tienen un impacto positivo en el rendimiento de la cadena de suministro en la industria automotriz de India. Por otro lado, (77) desarrolló un modelo de programación lineal mixta y algoritmos híbridos para diseñar una red de cadena de suministro cerrada de neumáticos sostenible. Estos estudios resaltan cómo la industria automotriz en India está abordando desafíos y buscando soluciones para mejorar la sustentabilidad y el rendimiento en su cadena de suministro.

Varios estudios han explorado diferentes aspectos relacionados con la sustentabilidad y la eficiencia de la cadena de suministro. (54) identificaron obstáculos en la gestión de las CSCC en Bangladesh, donde se destaca la falta de inversión como lo más significativo. (79) investigaron cómo las regulaciones ambientales, el compromiso de la alta dirección y el aprendizaje organizacional influyen en la innovación de productos verdes en la industria automotriz en India. Por otro lado, (73) exploraron la implementación exitosa de prácticas de gestión sostenible de la cadena de suministro en una empresa automotriz global que opera en India, identificando las capacidades clave requeridas para la adaptación.

Además, (16) detectaron y priorizaron los obstáculos para la adopción de la economía circular en la industria automotriz de India; sobresalen la “falta de capacidad para entregar productos remanufacturados de alta calidad” como el obstáculo más relevante. (19) evaluó alternativas de logística verde en India y concluyó que las prácticas verdes mejoran el desempeño y la sustentabilidad de la CS automotriz. Asimismo, (22) investigó los obstáculos para la gestión de devoluciones de productos en empresas automotrices en Malasia; luego del estudio, se demostró que la barrera de recursos era el principal inconveniente para la adopción de esta práctica.

Por último, (81) discuten la expansión de la gestión de la CS hacia sistemas de ciclo cerrado, por lo que presentan un modelo conceptual de “doble capa” y analizan el ciclo automotriz en Alemania como ejemplo práctico. Estos estudios abordan desafíos y oportunidades para mejorar la sustentabilidad y la eficiencia en la CS de la IMA en diferentes contextos y regiones.

Revisión de literatura

La CSCC en los VFVU es un tema muy concurrente. En (5) clasificaron estudios, detectaron brechas y proporcionaron guías para diseñar redes logísticas inversas. (9) revisaron revistas influyentes, países, instituciones y temas clave, y sugirieron futuras tendencias de investigación. (51) destacaron su importancia como recurso renovable y los beneficios ambientales y económicos asociados, así como los desafíos y medidas para mejorar la gestión de estos residuos. Por otro lado, (66) realizaron una revisión de 151 artículos sobre la cadena de suministro inversa (CSI) para el tratamiento de VFVU; en este trabajo sobresale el uso de modelos y herramientas como la programación lineal de enteros mixtos y el proceso analítico jerárquico.

Por otra parte, (6) investigó acerca de modelos de CSCC en economía circular; para ello, analizó 215 artículos con teoría de juegos, lo que le permitió encontrar factores económicos y mecanismos de compartir y recompensar-penalizar como frecuentes. (25) realizaron una revisión de la CSCC con remanufactura, y destacaron su relevancia en la sustentabilidad ambiental y la gestión de productos devueltos; además, identificaron oportunidades de investigación en estrategias, evaluación del rendimiento y diseño de redes. (36) desarrollaron el tema sobre la gestión de cadenas de suministro sustentables y sistemas de circuito cerrado; en este trabajo se destaca la importancia de prácticas ambientalmente responsables para lograr objetivos de sustentabilidad económica, ambiental y social.

Asimismo, (40) llevaron a cabo un estudio sobre la sustentabilidad ambiental en la industria automotriz y su CS; en este reconocieron motivos, prácticas y barreras para la adopción de enfoques verdes. (45) desarrolló su análisis sobre gestión de la CS, CSCC y LI, lo que le sirvió para hallar estrategias, modelos y prácticas en estas áreas, así como para mostrar

sus interconexiones y ofrecer direcciones para futuras investigaciones. (68) revisaron 204 artículos sobre GCS en la industria manufacturera; destacaron cinco áreas de investigación, incluyendo la sustentabilidad y oportunidades futuras para el diseño de redes de LI y evaluación de desempeño, además de señalar la necesidad de definir claramente el alcance del estudio.

Además, (7) realizaron su trabajo sobre remanufacturación, reutilización y reciclaje en la CS durante dos décadas; en el estudio se resalta la importancia de fomentar políticas verdes para mejorar la sustentabilidad ambiental. (52) trabajaron en la CSCC, y hallaron cuatro dimensiones clave para su desarrollo y construcción como relaciones intensas en la cadena de suministro, adaptación logística y organizacional, tecnologías disruptivas e inteligentes y entorno funcional. (56) proporcionan una visión sobre modelos y enfoques de solución para el diseño de redes de suministro inverso y cerrado; aquí se destacan características operativas y áreas para futuras investigaciones. (61) revisaron 914 artículos sobre la gestión de la cadena de suministro en la industria automotriz de la India; destacan la importancia del compromiso de la dirección y las prácticas de gestión para lograr sustentabilidad y resiliencia en el sector. (64) realizaron una revisión de 382 artículos sobre LI y CSCC; en la indagación se subraya la importancia creciente de la sustentabilidad ambiental y la necesidad de enfoques no determinísticos en la toma de decisiones y la optimización en estas áreas.

Por su parte, (69) realizaron una investigación empírica sobre incertidumbres en la CS de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos; en concreto, identificaron 102 evidencias de incertidumbre en diferentes etapas del ciclo de vida y acentúan el papel crítico del cobalto como una materia prima responsable del aumento de la incertidumbre. (70) trabajó en la medición y gestión del rendimiento de la cadena de suministro; sus resultados indican que el campo aún es inmaduro, con pocos estudios que apliquen y validen las propuestas teóricas en la práctica. (71) revisaron la literatura sobre sustentabilidad e innovación en el sector automotriz y encontraron prácticas ambientales y la necesidad de innovaciones radicales para cumplir con normas actuales. (74) evaluaron las prácticas de SSCM en la industria automotriz de India mediante enfoque cualitativo y cuantitativo; al respecto, señalan a la gestión del compromiso y el enfoque triple resultado como prácticas más influyentes. (82) investigaron la implementación de GSCM en la industria automotriz de la India, identificando los factores críticos de éxito y su influencia en prácticas verdes y resultados de rendimiento esperados.

Final de la vida útil

La optimización de la CSCC es un tema recurrente. Al respecto, (1) desarrollaron un modelo de programación lineal en Turquía para minimizar costos y maximizar ingresos. (3) desarrollaron un modelo matemático de programación lineal mixta en India; el modelo considera múltiples estrategias y escenarios para maximizar el margen de contribución de la red. (57) desarrollaron un modelo de programación matemática para optimizar la red de recuperación de vehículos al final de su vida útil, lo que aumenta beneficios económicos y minimiza la contaminación. Por otro lado, la evaluación del desempeño permite medir y valorar cómo está funcionando la CSCC, por lo cual (2) proponen un enfoque integral para evaluar el desempeño en la industria automotriz. Destacan 14 áreas clave para la cadena hacia adelante y 13 áreas clave para la cadena hacia atrás. (37) también utiliza lógica difusa para evaluar el rendimiento de la logística inversa en una empresa automotriz del sudeste asiático; la metodología mostró aplicabilidad para mejorar la gestión ambiental y reducir residuos en la industria automotriz.

Por otra parte, (4) proponen un marco de trabajo para la logística inversa en la industria automotriz, enfocado en identificar componentes valiosos y factibles para su reutilización o remanufactura. (10) realizan una encuesta en Malasia sobre la recuperación de VFVU, e identifican factores clave para mejorar la efectividad de la recuperación, por lo que proponen estrategias de diseño para el país. (24) utiliza el modelado con dinámica de sistemas para analizar las CSCC de las industrias automotrices de Estados Unidos y Japón; en el trabajo se destaca el impacto de las regulaciones gubernamentales y la necesidad de cadenas sostenibles.

Asimismo, (46) investigó el impacto de la regulación de “take-back” en el sector automotriz del Reino Unido. La presión regulatoria por sí sola no fue suficiente para impulsar cambios significativos en la CS. También identificó la colaboración entre empresas y proveedores como un factor clave para prácticas más ecológicas. (33) analizó un modelo de CSCC para el uso secundario de baterías de vehículos eléctricos con subsidios gubernamentales, por lo que proporciona pautas para la gestión y decisiones regulatorias efectivas.

Igualmente, (59) investigaron el reciclaje de baterías automotrices en una CSCC liderada por el fabricante; destacaron la importancia de precios razonables y esfuerzos de reciclaje bien gestionados para lograr un equilibrio eficiente. (78) utiliza el modelo de dinámica de sistemas para analizar el diseño de la CSCC en la industria automotriz japonesa y destaca la importancia de considerar reciclaje y reutilización para mejorar la sustentabilidad. (53) diseñaron una cadena de suministro cerrada para tratar VFVU en Alemania, utilizando enfoque de rutas de vehículos y algoritmos para minimizar costos de transporte. Finalmente, (67) proponen un marco de cadena de suministro inversa para mejorar la recuperación de productos automotrices al final de su vida útil en Malasia, lo que reduce la acumulación de desechos y promueve la utilización de componentes recuperados en la producción.

DISCUSIÓN

La IMA en México ha tenido un importante crecimiento en las últimas décadas, de ahí que se haya convertido en una figura clave en el mercado internacional. Los artículos revisados en el presente trabajo brindaron información acerca del contexto de la industria automotriz mexicana, la evolución histórica, las crisis económicas y el impacto ambiental, así como las estrategias de innovación y responsabilidad social empresarial que han tenido un impacto positivo en el desempeño financiero y sostenible de las empresas.

Por otro lado, se ha logrado identificar la necesidad de detectar los factores que impactan en la adopción de estrategias de CSCC, políticas que promuevan la educación, la innovación y el desarrollo sustentable en el sector automotriz para enfrentar los retos, además de mantener y mejorar la competitividad a nivel internacional.

En tal sentido, la investigación realizada en el ámbito de la manufactura ha proporcionado un enfoque de cómo diferentes países —incluyendo Irán, India, Bangladesh, Malasia y Alemania— han enfrentado los retos y oportunidades para mejorar la sustentabilidad ambiental y el rendimiento económico en esta industria. En consecuencia, se han propuesto diversas estrategias para mejorar la CSCC, como la optimización mediante modelos matemáticos, el uso de reglas difusas para evaluar el desempeño, y la implementación de prácticas de logística inversa y reciclaje. La investigación ha resaltado la importancia de la colaboración entre las empresas, la inversión en tecnologías más eficientes y el cumplimiento de regulaciones ambientales para avanzar hacia una cadena de suministro más sostenible. Además, se

identificaron obstáculos y barreras para la implementación de prácticas sostenibles, como la falta de conocimiento, la escasa inversión y la aún restringida capacidad para entregar productos remanufacturados de alta calidad.

La revisión de literatura muestra una amplia y creciente atención por temas relacionados con la sustentabilidad, la logística inversa y la economía circular. Los estudios revisados abordan desafíos significativos y oportunidades para mejorar la eficiencia y la sustentabilidad ambiental y económica en esta industria clave. Se han identificado diversos enfoques y modelos para diseñar redes logísticas inversas y cerradas, con énfasis en la optimización de aspectos económicos y ambientales.

Además, se destacan las tendencias de investigación, los temas clave y las áreas de oportunidad para futuras investigaciones, como la aplicación de modelos matemáticos avanzados y herramientas específicas para mejorar la gestión de residuos y reducir el impacto ambiental.

En particular, se ha subrayado la importancia de la economía circular y la remanufactura en la industria automotriz para aprovechar los recursos y minimizar el desperdicio. Los estudios también han destacado la necesidad de compromiso de la dirección, prácticas de gestión responsables y regulaciones ambientales para lograr una cadena de suministro más sostenible y resiliente.

La revisión de literatura ha proporcionado una visión general de las prácticas actuales y las áreas de investigación emergentes en la gestión de la cadena de suministro en la industria automotriz en diferentes países y contextos. Los resultados de estos estudios tienen implicaciones importantes para mejorar la sustentabilidad y la eficiencia en esta industria estratégica, tanto en términos económicos como ambientales.

La investigación de vehículos al final de la vida útil destaca la importancia de abordar la logística inversa y la economía circular para minimizar costos, maximizar ingresos y mejorar el rendimiento ambiental. En este sentido, la colaboración entre empresas y proveedores junto con regulaciones gubernamentales es clave para impulsar prácticas más ecológicas. La gestión adecuada de la CS ofrece oportunidades para reutilizar, reciclar y remanufacturar componentes, lo que disminuye la acumulación de desechos y promueve la sustentabilidad. Es necesario, por tanto, seguir investigando enfoques innovadores para mejorar la gestión de los residuos en la industria automotriz y promover prácticas más responsables y eficientes en el manejo de productos al final de su vida útil.

CONCLUSIONES

En general, los estudios revisados proporcionan evidencia de la importancia creciente de las CSCC y LI en la IMA. Se destacan estrategias como el diseño de modelos matemáticos y de programación lineal para optimizar el proceso de recuperación y reciclaje de vehículos al final de su vida útil, así como marcos de trabajo para mejorar la reutilización y remanufactura de componentes.

La recuperación y reutilización de materiales y componentes plantean una reducción de costos, la disminución a la dependencia de materias primas vírgenes y minimizar la acumulación de residuos en cada etapa del proceso para fomentar la sustentabilidad ambiental. En

otras palabras, la implementación de prácticas de CSCC pretende ayudar a las empresas a adaptarse a las regulaciones gubernamentales, mejorar su imagen ante los consumidores y lograr ventajas competitivas en el mercado.

En necesario, por tanto, seguir investigando y desarrollando estrategias para optimizar la CSCC en la IMA con el objetivo de lograr un equilibrio entre la rentabilidad económica, la responsabilidad social y ambiental. Al abordar estas cuestiones, la industria automotriz puede avanzar hacia un futuro más sostenible y resiliente.

Limitante y líneas futuras de investigación

Esta investigación estuvo limitada a la consulta de seis motores de búsqueda de los artículos seleccionados. Se recomienda incluir Scopus, Web of Science, JSTOR y Scimago con la finalidad de tener una base de datos más completa para la comprensión del tema.

Por otro lado, la revisión sistemática sobre CSCC ha proporcionado una visión amplia y detallada de las contribuciones y avances en este tema, tanto a lo largo de los años como a nivel internacional. Los estudios revisados han mostrado el potencial y los beneficios de implementar prácticas sostenibles en la industria maquiladora, lo que respalda la adopción de la CSCC en la IMA.

La evidencia presentada en este trabajo respalda sólidamente la implementación de la CSCC en la IMA, por lo cual se propone continuar con un próximo estudio que se enfoque en detectar y analizar los factores que impactan en la adopción de estrategias en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Se sugiere, por ende, incluir las barreras y desafíos que enfrentan las empresas en la implementación de prácticas sustentables, así como la identificación de los incentivos y beneficios que podrían motivar su adopción.

REFERENCIAS

- Bhatia, M. S. and Jakhar, S. K. (2020). The effect of environmental regulations, top management commitment, and organizational learning on green product innovation: Evidence from automobile industry. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3907–3918. <https://doi.org/10.1002/bse.2848>
- Bowen, F. E., Bansal, P. and Slawinski, N. (2018). Scale matters: The scale of environmental issues in corporate collective actions. *Strategic Management Journal*, 39(5), 1411–1436.
- Chan, F. T. S., Chan, H. K. and Jain, V. (2012). A framework of reverse logistics for the automobile industry. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1318–1331. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.571929>
- Cruz-Rivera, R. and Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 930–939. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041>
- Diabat, A., Khodaverdi, R. and Olfat, L. (2013). An exploration of green supply chain practices and performances in an automotive industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(1–4), 949–961. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4955>
- Maldonado, G., Mojica Carrillo, E. P. and Pinzón Castro, S. Y. (2021). Green supply chain management and firm performance in the automotive industry. *Cuadernos de Administración*, 34. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cao34.gscmf>
- Mathiyazhagan, K., Rajak, S., Sampurna Panigrahi, S., Agarwal, V. and Manani, D. (2021). Reverse supply chain management in manufacturing industry: a systematic review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(4), 859–892. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0293>
- Panda, T. K., Kumar, A., Jakhar, S., Luthra, S., Garza-Reyes, J. A., Kazancoglu, I. and Nayak, S. S. (2020). Social and environmental sustainability model on consumers' altruism, green purchase intention, green brand loyalty and evangelism. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118575.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P. and Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Shankar, R., Bhattacharyya, S. and Choudhary, A. (2017). A decision model for a strategic closed-loop supply chain to reclaim End-of-Life Vehicles. *International Journal of Production Economics*, 195, 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.005>
- Shekarian, E. (2020). A review of factors affecting closed-loop supply chain models. *Journal of Cleaner Production*, (253). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119823>
- Wong, W. (2007). Supply chain performance measurement system using DEA modeling. *Industrial Management and Data Systems*, 107(3), 361–81.

La sustentabilidad social de parques urbanos: una revisión sistemática de la literatura

The social sustainability of urban parks: a systematic review of the literature

Ricardo Olivares Rodríguez

Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez

Ricardo_olivares@utcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9030-3539>

Diego Adiel Sandoval Chávez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

dsandoval@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2536-1844>

Aida Yarira Reyes Escalante

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

aida.reyes@uacj.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0104-9522>

RESUMEN

El objetivo de esta revisión sistemática es dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿cuáles son los indicadores de la sustentabilidad social de los parques urbanos que han sido abordados en la literatura?, ¿cuál es la relación que eventualmente prevalece entre el estudio de estos indicadores? y ¿cuáles son las principales líneas de investigación en torno a la sustentabilidad social de parques urbanos? Para ello, se adoptó la estructura PRISMA 2020 para conducir la revisión del concepto de sustentabilidad del parque urbano desde una perspectiva social. Mediante el uso de operadores lógicos, se condujo una revisión en los principales motores de búsqueda académicos. Se lograron identificar 61 artículos en inglés y español en el periodo 2009-2023. Los resultados revelaron que la accesibilidad, los patrones de uso, la seguridad y la inclusión de grupos vulnerables son los factores de sustentabilidad social más recurrentes, mientras que otros como el arraigo en la ciudad, el lugar de residencia, el consumo y el tiempo de permanencia han recibido menos atención. Al final, se establecen las conclusiones del estudio, sus limitaciones y una agenda de investigación para trabajos futuros.

Palabras clave: sustentabilidad urbana, parque urbano, espacio verde urbano.

ABSTRACT

This systematic review aims to answer the following questions: What are the Social Sustainability Indicators for urban parks addressed in literature? What is the prevailing relationship among the studied indicators? What are the main lines of investigation undertaken for the social sustainability of urban parks? PRISM 2020 was adopted to conduct the review of the urban park sustainability concept from a social standpoint. Through a series of logical operators, a comprehensive review was made to determine the main academic search engines. A total of 61 articles in both English and Spanish dating from 2009-2023, that met the

established inclusion and exclusion criteria were found. Results revealed that accessibility, behavioral usage, safety, and vulnerable and marginalized group inclusion are the most recurring indicators of social sustainability. While others like hometown rootage, consumer behavior, city of residence and stay time have drawn less attention. Arising Conclusions from the research study are established, along with its limitations and an agenda setting for future research.

Keywords: Urban sustainability, Public Park, Urban green space.

INTRODUCCIÓN

En los parques urbanos se desarrolla una gran diversidad de actividades sociales, entre las que se incluyen las físicas, culturales o recreativas. Los beneficios derivados de estas están firmemente sustentados en la literatura, y entre ellos es posible mencionar la salud física y mental, la recreación, la interacción, la reflexión y el solaz (Arifwidodo *et al.*, 2022; Dinda y Ghosh, 2021a; Rigolon y Németh, 2018; Wang *et al.*, 2021). En otras palabras, el papel que juega el parque urbano como una forma refinada de espacio público es preponderante para el bienestar de las personas en el ámbito urbano (Addas, 2022; Lee y Kim, 2015), pues representan territorios de inclusión, interacción humana y conexión con la naturaleza, de ahí que se justifique el estudio de su cualidad sustentable (Dinda y Ghosh, 2021a) including environmental, social, recreational, and health benefits to the city dwellers. Recently much research has argued that a better understanding of citizen preferences should be effective in managing urban green space. The aim of this study to understand the purpose, motives as well as attitude towards urban parks in different socio-demographic assortments, variety of preferences, and their willingness to pay (WTP).

Por este motivo, en la presente revisión sistemática se ha procurado identificar, con base en la evidencia científica, la influencia que tienen los indicadores sociales en la sustentabilidad de los parques urbanos, es decir, accesibilidad, lugar de residencia, frecuencia de la visita, tiempo de permanencia, inclusión, patrones de uso, consumo, percepción de seguridad contra accidentes y delitos, calidad y satisfacción de la visita (Sandoval-Chávez *et al.*, 2022). Las preguntas que guiaron este trabajo fueron las siguientes: ¿cuáles son los indicadores de la sustentabilidad social de los parques urbanos que han sido abordados en la literatura?, ¿cuál es la relación que eventualmente prevalece entre el estudio de estos indicadores? y ¿cuáles son las principales líneas de investigación en el estudio de la sustentabilidad social de parques urbanos?

El propósito es intentar ofrecer un marco explicativo mediante una apreciación longitudinal de la dinámica del tratamiento científico de la sustentabilidad social en estos importantes espacios. Esto permitirá no solo sintetizar los estudios científicos hasta ahora disponibles, sino también optimizar la validez de las investigaciones e identificar futuras líneas de acción. Por eso, sería pertinente identificar cuáles son sus componentes principales, cuáles han sido los más recurrentes y cuáles los menos estudiados. Con esto será posible identificar las líneas de investigación disponibles en materia de sustentabilidad social de parques urbanos, así como las inercias y rezagos que prevalecen en la literatura (Ferreira González *et al.*, 2011).

En cuanto a la organización del artículo, este se estructuró de la siguiente manera: primero se presenta una síntesis de la teoría relativa a la SS de los parques urbanos. Después se describe el método para la revisión sistemática, el formato seguido y los criterios de inclusión de los trabajos considerados. Luego se presentan los resultados derivados del análisis

anterior y una discusión con enfoque explicativo de los hallazgos. Finalmente, se ofrecen las conclusiones derivadas de los resultados, las limitaciones del estudio y una agenda de investigación futura.

MARCO TEÓRICO

Las definiciones de sustentabilidad varían en función del ámbito en el que se utilicen. En general, tienen en común el objetivo de promover un desarrollo justo y equitativo para todas las personas a través de la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras (Brundtland, 1987).

La sustentabilidad, además, es reconocida como un marco de referencia estratégico relevante cuando se considera la planificación urbana y la creación del espacio público. El concepto *sustentabilidad* evolucionó desde la publicación del informe *Nuestro Futuro Común* (Brundtland, 1987) hasta la actualidad. De acuerdo con el rubro *sistemas socioecológicos y sustentabilidad* de los programas nacionales estratégicos de Conahcyt (PRONACES) del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), la sustentabilidad se refiere a la relación entre las “sociedades y los ecosistemas que permite cubrir de manera equitativa y suficiente las necesidades de todos los sectores de la sociedad, a la vez que se mantienen los procesos y mecanismos ecológicos y evolutivos inherentes al fenómeno de la vida” (CONAHCYT, 2023, p. 34).

La sustentabilidad social, por tanto, implica la adopción de prácticas y políticas que promuevan la justicia social, la equidad, el acceso igualitario a recursos y oportunidades, la inclusión, la diversidad y el bienestar de las personas y comunidades (Eizenberg y Jabareen, 2017). Es un enfoque que reconoce que el desarrollo *sustentable* no solo implica la protección del medio ambiente, sino también el desarrollo de actividades económicas y sociales que contribuyan al bienestar y a la calidad de vida de las personas y comunidades a largo plazo (Eizenberg y Jabareen, 2017; Liu *et al.*, 2017). This paper aims to construct an integrative conceptual framework of social sustainability, taking into account the Chinese contextual interpretations and elderly population in particular. This paper proposes an integrative conceptual framework composed of two key contextualized components: well-being and social justice. Well-being, according to Lindenberg, is the ultimate goal of life and is achieved by relevant themes organized in a hierarchical system. Social justice relating to the equal distribution of resources, opportunities, and rights is also significant for the achievement of well-being. Interpretations of social sustainability are explored within Chinese socio-cultural (Confucianism, collectivism).

Ahora bien, en cuanto al parque urbano como formato depurado del espacio público, se puede afirmar que este tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las personas. Los parques urbanos, en efecto, ofrecen una amplia gama de servicios sociales, que van desde la mejora de la salud y el bienestar de las personas —mediante la promoción del ejercicio, la actividad física y el contacto con la naturaleza— hasta los servicios medioambientales como la regulación térmica y sonora o la purificación del aire (WHO Regional Office for Europe, 2016).

Para evaluar el grado en el que un parque urbano es socialmente sustentable se han sugerido en la literatura diversos indicadores, entre los que se pueden mencionar los siguientes: accesibilidad, percepción de seguridad, patrón de uso, inclusión, intención de la visita, calidad y satisfacción, tiempo de permanencia, lugar de residencia, consumo y arraigo en la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Criterios de elegibilidad

Las características de los estudios elegidos son las siguientes: artículos de investigación en parques urbanos que tuvieran coincidencia en alguno de los indicadores de interés, sin restricciones geográficas y escritos en inglés y español (el 84.62 % de los artículos en inglés tenían factor de impacto). Se descartaron tesis, ensayos, libros, artículos históricos, análisis del paisaje, áreas verde urbanas como jardines y banquetas; además, no se incluyeron artículos sobre sustentabilidad económica ni ambiental.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

El periodo de búsqueda fue realizado entre el 15 de agosto de 2022 y el 10 de enero de 2023. Para la búsqueda de la información en español se elaboró la siguiente ecuación:

("sustentabilidad" AND "parque público" AND "espacio público" AND (seguridad OR accesibilidad OR uso OR inclusión OR satisfacción OR residencia OR arraigo OR intención OR frecuencia OR consumo OR calidad))

Esta ecuación fue construida a partir de las palabras clave y los indicadores sociales que influyen en la sustentabilidad social del parque; asimismo, se probaron diferentes combinaciones de palabras, de tal forma que arrojaran la información requerida.

En la base de datos de Google Académico se encontraron 551 artículos con la ecuación final utilizada en la cual se incluyen las palabras clave y los indicadores. En esta base de datos se seleccionaron artículos de Dialnet, Scielo, Redalyc y ResearchGate.

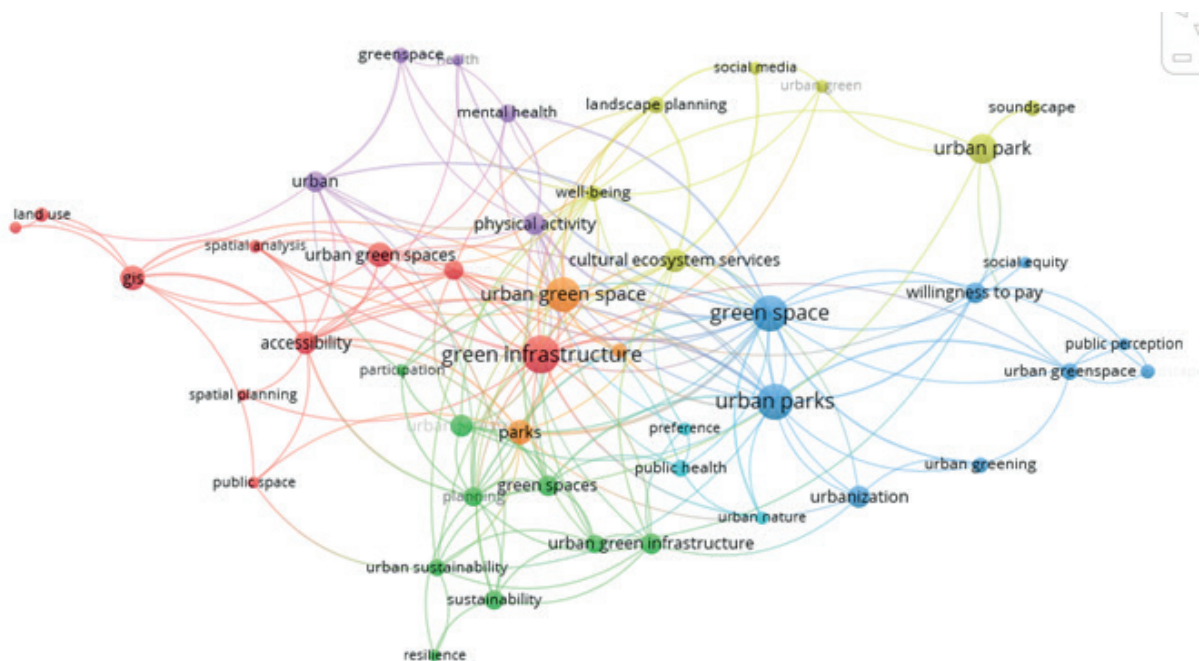
La búsqueda realizada en las bases de datos en inglés se inició con la siguiente ecuación:

("Sustainability" OR "Urban Park" OR "Public Space") AND ("Urban Park" and (Safety OR Accessibility OR Use OR Inclusion OR Satisfaction OR Residency OR Rooting OR Intended OR Frequency OR Consumption OR Quality))AND ("Public Space" and (Safety OR Accessibility OR Use OR Inclusion OR Satisfaction OR Residency OR Rooting OR Intended OR Frequency OR Consumption OR Quality)).

Esta combinó cada palabra clave con cada indicador y se refinó durante la búsqueda de acuerdo con cada base de datos, como se muestra en la tabla 1. En Google Académico los artículos encontrados fueron también de otras bases de datos, algunas de acceso restringido, por lo que se decidió buscar por separado en cada base con acceso libre, como *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI). Allí se hallaron 47 artículos de la revista *Sustainability* con factor de impacto de 3.88, de los que se eligieron 13 en total. Del portal Sage hubo 30 artículos que cumplieron con la búsqueda después de refinar la ecuación, de los cuales fueron elegidos 16. En *ScienceDirect* se encontraron 2078 artículos con la ecuación de búsqueda modificada, ya que esta base de datos solo permite ocho conectores booleanos.

Como hubo una gran cantidad de artículos, se utilizó la red bibliométrica Vosviewer para el análisis de coocurrencia de palabras clave y para poder observar la distribución de los puntos críticos de investigación. Con esta red se visualizaron similitudes por medio de círculos que representan un nodo de palabra clave. El tamaño de los círculos representa el nivel de frecuencia de las palabras, es decir, cuanto mayor sea el círculo mayor será la frecuencia de palabras, por lo que será más representativo el contenido principal de la investigación. La conexión entre los nodos representa la relación de coocurrencia. La red se generó siguiendo las siguientes opciones del *software*: create a map based on bibliographic data, raed data from reference manager files archivo ris coocurrencia de palabras clave, todas las palabras, clave "full counting", número mínimo de apariciones por palabra clave = 4, número de palabras a seleccionar = 120, de las cuales se eliminaron los nombres de países y ciudades, las variables económicas y las ecológicas.

Figura 1. Mapa de coocurrencia de palabras clave de la base de datos ScienceDirect



Fuente: Elaboración propia

Los nodos más grandes fueron de las palabras *green infraestructure*, *green space*, *urban parks*, *urban green space*; al analizar cada nodo por separado se aprecian las coocurrencias específicas de cada tema, lo cual brinda una pauta para restringir la búsqueda de datos de acuerdo con los criterios de inclusión de la base.

Se eligió para refinar la búsqueda de acuerdo con el análisis de *Vosviewer research articles*, *subject areas social sciences*, y las revistas *Urban Greening*, *Landscape and Urban Planning*, *Cities*, *Procedia*, *Habitat International*, *Health and Place*, *Computers*, *Tourism Management*, *Transportation Research*, *City culture and Society*, *Social Sciences and Medicine*. Así, la cantidad de artículos disminuyó a 782, de los cuales se incluyeron 12 para su revisión.

En la tabla 1 se muestran las bases de datos específicas de áreas temáticas e interdisciplinarias, las ecuaciones de búsqueda refinadas, el número de artículos encontrados y los que fueron incluidos.

Tabla 1. Conteo de artículos por base de datos

Base de datos	Ecuación de búsqueda	Artículos encontrados	Artículos seleccionados
Google Académico	("sustentabilidad" AND "parque público" AND "espacio público" AND (seguridad OR accesibilidad OR uso OR inclusión OR satisfacción OR residencia OR arraigo OR intención OR frecuencia OR consumo OR calidad))	551	17
Google Academic	(Sustainability OR Urban Green space) and (safety OR accessibility OR use OR inclusion OR satisfaction OR intended OR frequency)	148	3
MDPI	("Sustainability" AND "Urban Parks" AND Urban Green Space) AND (safety OR accessibility OR use OR inclusion OR satisfaction OR intended OR frequency)	47	13
Sage	("Sustainability" AND "Urban Park" AND Urban Green Space) AND (security OR accessibility OR use OR inclusion OR satisfaction OR intended OR frequency)	72	15
ScienceDirect	("Sustainability" AND "Urban Parks", Urban Green Space) AND (security OR accessibility OR use OR inclusion OR satisfaction OR intended OR frequency)	782	12
Total		1558	60

Fuente: Elaboración propia

Proceso de selección de estudios

Los autores de la presente investigación trabajaron de manera independiente para la selección de los estudios: el primer autor revisó cada artículo buscando alguno de los indicadores en el título, en el resumen y posteriormente en los resultados; se acordó que fuera una condición necesaria para la inclusión en la revisión. El segundo autor efectuó una segunda revisión de los artículos no incluidos inicialmente y comenzó con la agrupación de los artículos seleccionados, mientras que el tercer autor también contribuyó con la agrupación y ordenación de los artículos elegidos para su análisis.

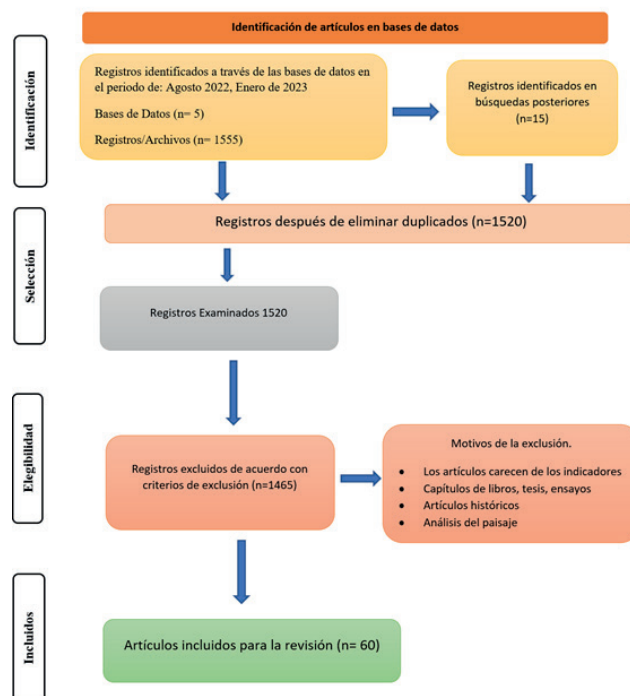
Proceso de extracción de datos

Para la extracción de los datos de los artículos elegidos se elaboró una matriz en Excel en la cual se capturó la siguiente información: nombre del artículo, nombre del autor, nombre de la revista, factor de impacto, año de ubicación, fecha, base de datos, palabras clave, idioma, país, tipo de estudio, teorías, objetivos, técnica, instrumento, población, escala, variables y hallazgos. Posteriormente, se elaboró una síntesis que incluyó el autor, los objetivos de la investigación, el lugar donde fue realizada, la escala y los principales resultados obtenidos. Asimismo, se elaboró una matriz en Excel para detallar las frecuencias de los indicadores estudiados por artículo.

RESULTADOS

El diagrama de flujo con el proceso de búsqueda y selección de los artículos se ilustra en la figura 2. Se encontraron 1555 registros en cinco bases de datos; los registros posteriores fueron 15. Hubo un total de 70 artículos duplicados, se examinaron 1520 registros y fueron excluidos 1465 con los criterios de selección. Finalmente, quedaron 60 artículos incluidos para su revisión: 2 de ellos eran estudios de caso (Flores-Xolocotzi *et al.*, 2017; Holguín y Campos, 2017), 5 revisiones de literatura (Konijnendijk *et al.*, 2013; Mygind *et al.*, 2019; Kolimenakis *et al.*, 2021; Shepley *et al.*, 2019; Zabelskyte *et al.*, 2022) y 55 estudios empíricos (Addas, 2022; Annerstedt *et al.*, 2015; Arifwidodo *et al.*, 2022; Baek *et al.*, 2021; Bahriny y Bell, 2020; Benocci *et al.*, 2021; Castiblanco y Peries, 2019; Chen *et al.*, 2019; Dinda y Ghosh, 2021; Espinoza *et al.*, 2017; Flores y Ceballos, 2017; Flores y Gonzáles, 2007; García y Lara, 2016; Ghasemi *et al.*, 2022; Holguín y Campos, 2018; Ipiña, 2016; Iqbal y Ceccato, 2016; Jiménez, 2020; Kaymaz *et al.*, 2019; Lee y Kim, 2015; Liang y Zhang, 2018; Licon y Martínez, 2017; Lin *et al.*, 2021; Long *et al.*, 2022; Maas *et al.*, 2009; Macedo y Haddad, 2016; Maniruzzaman *et al.*, 2021; Masullo *et al.*, 2022; Mejía y Gómez, 2015; Moreno y Sánchez, 2018; Nasir *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2016; Pérez, 2012; Polko y Kimic, 2021; Pratiwi *et al.*, 2020; Rahman y Shorkar, 2021; Reklaitiene *et al.*, 2014; Restrepo, 2009; Rigolon y Németh, 2018; Rivera, 2014; Saint-Onague *et al.*, 2022; Sandoval *et al.*, 2022; Schrammeijer *et al.*, 2021; Talal y Santelmann, 2021; Tu *et al.*, 2018; Tyskowski *et al.*, 2018; van den Berg *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021; Wang y Foley, 2021; Wei *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020).

Figura 2. Diagrama de flujo con el cribado de los artículos



Fuente: Elaboración propia

Se realizó una búsqueda de revisiones de literatura acordes con el tema de investigación, lo que permitió observar las evidencias encontradas en estudios anteriores. En la tabla 2 se muestran las cinco revisiones seleccionadas para su estudio. Contiene el nombre de los autores de las RS, el lugar donde se realizó la investigación, el periodo de análisis, el número de artículos que incluyeron para sus revisiones y el tipo de revisión que se hizo.

Tabla 2. Revisiones de literatura

Autor(es) y año	Lugar	Periodo de análisis	Artículos incluidos	Tipo de revisión
(Kolimenakis <i>et al.</i> , 2021)	Grecia	No lo menciona	61	Revisión sistemática
(Konijnendijk <i>et al.</i> , 2013)	Suecia	2012	86	Revisión sistemática
(Shepley <i>et al.</i> , 2019)	EUA	2017- 2020	45	Revisión sistemática
(Grigoletto <i>et al.</i> , 2021)	Italia	No lo menciona	10	Revisión sistemática
(Mygind <i>et al.</i> , 2021)	Dinamarca	2017	22	RS y metaanálisis

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en cada RS consultada son los siguientes: la infraestructura verde urbana puede tener efectos positivos en el bienestar de los ciudadanos a través de la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, lo que a su vez mejora los indicadores de calidad de vida (Kolimenakis *et al.*, 2021). Asimismo, los parques contribuyen al bienestar humano y social, pues contribuyen a hacernos más activos física e indirectamente por su alta biodiversidad, lo que mejora las oportunidades para la experiencia de la naturaleza y la recreación (Konijnendijk *et al.*, 2013). Además, la presencia de parques y otros espacios verdes reduce el crimen urbano; en síntesis, los artículos revisados explican el impacto de los espacios verdes en el crimen, incluyendo la interacción social y la recreación, la percepción de la comunidad, la reducción del estrés biofílico, el clima modulación, y espacios de expresión de la definición territorial (Shepley *et al.*, 2019)we conducted an in-depth literature review using the PRISMA checklist. The search parameters included US articles written in English and published since 2000. More than 30,000 potential paper titles were identified and ultimately, 45 papers were selected for inclusion. Green spaces typically comprised tree cover, parks and ground cover. Criminal behaviors typically included murder, assault, and theft. The majority of the research reviewed involved quantitative methods (e.g., comparison of green space area to crime data. Igualmente, la actividad al aire libre puede mejorar la salud de los adultos; en tal sentido, la caminata fue la actividad más popular en los espacios verdes urbanos (Kolimenakis *et al.*, 2021).

Si bien los estudios informaron efectos positivos, los efectos de estudios pequeños podrían sesgar el cuerpo de evidencia. Por ende, la investigación futura se beneficiaría de incluir tamaños de muestra más grandes, mayor diversidad de población en términos de factores sociodemográficos, condiciones y diagnósticos médicos, edad y sexo (Mygind *et al.*, 2021).

Por otra parte, se elaboró una tabla de Excel con la síntesis de los 55 artículos, la cual sirvió para organizar y sintetizar los resultados de cada estudio, así como para responder la siguiente pregunta: ¿cuáles son las principales líneas de investigación en el estudio de la sustentabilidad social de parques urbanos? En la referida tabla se mencionan los objetivos de investigación, los principales resultados encontrados, así como los autores, el lugar donde fueron realizados, el año y la escala. La tabla se puede consultar haciendo clic en anexos tabla objetivos.pdf

En la tabla 3 se enseña un análisis de las ocurrencias de los indicadores estudiados en los 55 artículos elegidos. Los 38 primeros son estudios en idioma inglés, y del 39 al 55 son en español. Esta tabla ayuda a observar cuáles índices fueron más estudiados, con qué frecuencia y cuál es la relación que existe entre ellos.

gar a un parque público, independientemente de su edad, género, movilidad o condición económica. Esto, por supuesto, involucra varios modos de transporte, como caminar, andar en bicicleta, usar el transporte público o conducir. Sin embargo, algunos trabajos muestran que existe inequidad en el acceso a espacios verdes urbanos asociadas con la condición económica y el género de las personas.

Asimismo, cuanto más cerca vive una persona de un parque es más probable que lo visite, lo cual se evidenció en varios estudios donde se utilizó software con algún sistema de información geográfica (SIG) para el análisis de la accesibilidad.

El tercer indicador en orden de influencia fue la percepción de seguridad, la cual se refiere a qué tan seguras se sienten las personas al visitar el parque público, tanto en términos de accidentes como de actividad delictiva. En este sentido, las personas necesitan sentirse seguras en los espacios públicos para aprovecharlos, por lo que es de gran importancia este indicador. En este influyen la iluminación, la infraestructura, las medidas de seguridad, la vegetación y el mantenimiento. Se observó que los parques que carecen parcialmente de pasto, que tienen demasiados arbustos que impiden la visibilidad, que carecen de iluminación o tienen grafitis dan la sensación de inseguridad.

El cuarto indicador más estudiado fue la inclusión, que se refiere al grado de diversidad y cohesión comunitaria que existe dentro del parque. Sobre este elemento, los espacios públicos que son inclusivos para las personas de todos los orígenes fomentan un sentido más fuerte de sustentabilidad social. Sin embargo, el análisis reveló procesos en los cuales se evita el uso del espacio público por parte de mujeres, infantes, personas mayores, así como de segregación espacial según el origen étnico y los signos de pobreza, puesto que la mayoría de los parques están ubicados en vecindarios más prósperos. Esto, unido al uso de vallas que impiden los accesos en algunas colonias, incentivan la desigualdad y la forma en como son percibidos esos espacios.

CONCLUSIONES

La revisión llevada a cabo reveló varios datos y recomendaciones que podrían guiar investigaciones futuras e influir en el diseño de políticas urbanas. Estos hallazgos podrían servir de apoyo a las autoridades locales y a las partes interesadas para medir y evaluar los beneficios de los espacios verdes en parques urbanos, así como impulsar la implementación de intervenciones y programas que fomenten su mayor desarrollo. La evidencia de este estudio, por tanto, podría ser utilizada para evaluar el impacto social de los parques urbanos en investigaciones posteriores, pues se mencionan todos los beneficios que las personas obtienen de estos. Además, se logró establecer una jerarquización de la importancia de los índices analizados, de los cuales el patrón de uso, la accesibilidad y la percepción de seguridad fueron los indicadores más frecuentemente estudiados.

Futuras líneas de investigación

Esta investigación dio cuenta de los principales indicadores estudiados de la sustentabilidad social en PU a nivel mundial. Esta es un área de investigación muy específica y relevante para comprender cómo estos espacios pueden contribuir al bienestar y calidad de vida de las personas. Sin embargo, dado que es un tema en constante evolución, existen diversas áreas de investigación que podrían explorarse en el futuro, como por ejemplo la sustentabilidad económica y la participación ciudadana para la gestión y financiamiento adecuados de los PU. Estas áreas de estudio pueden fortalecer la comprensión y el enfoque en la sustentabilidad social de los parques urbanos, lo que permitiría mejorar su diseño, gestión y beneficios para las personas que los utilizan y las comunidades circundantes.

Agradecimientos

Esta obra fue publicada con el apoyo del Instituto de Innovación y Competitividad de la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua.

REFERENCIAS

- Addas, A. (2022). Exploring the pattern of use and accessibility of urban green spaces: evidence from a coastal desert megacity in Saudi Arabia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 55757–55774. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19639-4>
- Arifwidodo, S. D., Chandrasiri, O., Rasri, N., Sirawarong, W., Rattanawichit, P. and Sangyuan, N. (2022). Association between Park Visitation and Physical Activity among Adults in Bangkok, Thailand. *Sustainability*, 14(19), 1–11. <https://doi.org/10.3390/su141912938>
- Brundtland, G. H. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre medio ambiente y el desarrollo: nuestro futuro común*. Naciones Unidas.
- Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (Conacyt) (s. f.). *Sistemas socioecológicos y sustentabilidad*. <https://conacyt.mx/pronaces/pronaces-sistemas-socioecologicos/>
- Dinda, S. and Ghosh, S. (2021a). Perceived benefits, aesthetic preferences and willingness to pay for visiting urban parks: a case study in Kolkata, India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(1), 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.12.007>
- Eizenberg, E. and Jabareen, Y. (2017). Social sustainability: A new conceptual framework. *Sustainability*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010068>
- Ferreira González, I., Urrútia, G. and Alonso-Coello, P. (2011). Systematic reviews and meta-analysis: Scientific rationale and interpretation. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688–696. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2011.03.029>
- Lee, Y. C. and Kim, K. H. (2015). Attitudes of citizens towards urban parks and green spaces for urban sustainability: The case of Gyeongsan City, Republic of Korea. *Sustainability*, 7(7), 8240–8254. <https://doi.org/10.3390/su7078240>
- Liu, Y., Dijst, M., Geertman, S. and Cui, C. (2017). Social sustainability in an ageing chinese society: Towards an integrative conceptual framework. *Sustainability*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040658>
- Rigolon, A. and Németh, J. (2018). A QUality INdex of Parks for Youth (QUINPY): Evaluating urban parks through geographic information systems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(2), 275–294. <https://doi.org/10.1177/0265813516672212>
- Sandoval Chávez, D. A., Reyes Escalante, A. Y., Córdova y Vázquez, A., Tarango Hernández, L. E. and Terrazas Mata, L. E. (2022). La peatonabilidad desde la perspectiva sistémico-sustentable y la calidad de la accesibilidad radial del Parque Central de Ciudad Juárez, México. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(24). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1124>
- Wang, M., Qiu, M., Chen, M., Zhang, Y., Zhang, S. and Wang, L. (2021). How does urban green space feature influence physical activity diversity in high-density built environment? An on-site observational study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62, 127129. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127129>
- WHO Regional Office for Europe (2016). *Urban green spaces and health*. 92.

Implementación de las siete herramientas administrativas en una obra de construcción de viviendas

Implementation of the 7 administrative tools in a housing construction site

Gilberto Orrantia Daniel

Tecnológico Nacional de México / IT de Hermosillo, México
gilberto.orrantiad@hermosillo.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7191-0656>

Germán Alonso Ruiz Domínguez

Tecnológico Nacional de México / IT de Hermosillo, México
gruiz@hermosillo.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1497-5066>

Lorena Graciela Alvarado Coronado

Tecnológico Nacional de México / IT de Hermosillo, México
lore coronado@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-1221-298X>

RESUMEN

El sector de la construcción se enfrenta a una revolución que abarca distintas formas y técnicas para realizar nuevos proyectos; por eso, las empresas se ven obligadas a buscar continuamente iniciativas que puedan generar ventaja competitiva que les permita sobrevivir en el mercado. El propósito de este estudio, por tanto, fue implementar las siete herramientas administrativas en una obra de construcción de viviendas. En la metodología es posible observar las fases que se deberán llevar a cabo para identificar el principal problema que enfrenta la empresa para disminuir el tiempo de entrega al cliente con una buena calidad en su producto. En los resultados se especifican varias alternativas de solución, entre las que se destacan crear un manual de procedimientos. Como conclusión, la implementación de las siete herramientas administrativas permitió que la organización tuviera una visión más clara de la situación en la que se encuentra para dar solución a sus problemas.

Palabras clave: 7 herramientas administrativas, 7 nuevas herramientas, calidad, construcción.

ABSTRACT

The construction sector is facing a revolution that encompasses different forms and techniques in which new projects are carried out, which is why companies are forced to continually seek initiatives that can generate competitive advantage, which allows them to survive in the market. The purpose of this study was to implement the 7 administrative tools in a housing construction site. In the methodology it is possible to observe the phases that must be carried out to identify the main problem that the company faces to reduce the delivery time to the client with a good quality in its product. In the results, several solution alternatives are specified where it is considered that the one that contributes the most to the main solution of the problem is to make a procedures manual. In conclusion, the implementation of the 7 administrative tools allowed the organization to have a clearer vision of the situation in which

it finds itself and to be able to reach joint decision-making in order to solve their problems.

Keywords: 7 administrative tools, 7 new tools, quality, construction.

INTRODUCCIÓN

El análisis y mejora de los procesos administrativos ha sido una preocupación constante en el ámbito empresarial, de ahí que se hayan desarrollado diversas herramientas y técnicas para abordar esta tarea de manera efectiva. Entre ellas, se destacan las *siete nuevas herramientas*, también llamadas siete herramientas administrativas, que han demostrado ser valiosas para identificar problemas, analizar datos y tomar decisiones (Kent, 2016).

En efecto, investigaciones anteriores han destacado la importancia de estas herramientas y han explorado su aplicación en diversos contextos organizacionales. Por ejemplo, Grigoryan y Golubkova (2020) realizaron un estudio sobre la utilización de algunas de las siete nuevas herramientas en varios problemas. Sus hallazgos demostraron que estas facilitaron la comprensión y la priorización de los problemas, lo que llevó a una mejora significativa en la calidad y la satisfacción del cliente.

En otro estudio, Pramono *et al.* (2018) emplearon las siete nuevas herramientas para identificar y reconocer los factores que podrían causar defectos en productos farmacéuticos; al final, propusieron un diseño de mejora de la calidad para minimizar la cantidad de defectos.

Además, Ginting y Fattah (2020) utilizaron las siete nuevas herramientas para reducir los defectos en una organización de producción de componentes para aviones y productos aeroespaciales; de esta forma, identificaron como principal problema que cuanto mayor es el número de productos defectuosos se retrasa la entrega al contratista principal. Esto es muy perjudicial para la empresa, ya que además de ser multada también tiene que pagar los gastos de envío.

Por todo lo anterior, la investigación en curso pretende formular una estrategia que ayude a las empresas constructoras y contratistas para desarrollarse mejor. La empresa en estudio está localizada al noroeste de México y se dedica a la construcción de viviendas de interés social. Con respecto a los procesos y actividades realizadas por la organización, se pueden definir como inestables y no aceptan nuevos cambios, lo que se ve reflejado principalmente en desperdicios, defectos de calidad, sobreprocesamientos, entre otros.

El objetivo de esta investigación, por tanto, consistió en atender el problema de mala calidad en las viviendas de interés social con la aplicación de las siete nuevas herramientas o siete herramientas administrativas.

MARCO TEÓRICO

El concepto *cultura* en las organizaciones se refiere a los estándares colectivos de pensamiento, actitudes, valores, creencias, normas y costumbres que existen en ellas. En este componente cultural se pueden distinguir elementos visibles, como comportamientos y lenguaje común, rituales y símbolos; sin embargo, en su mayoría hay componentes menos visibles, es decir, percepciones y representaciones de lo que es “valor” en la organización, mitos y estándares empíricos sobre lo que significa trabajar bien y comportarse correctamente (Adina-Petruta, 2014).

Las estrategias para lograr una cultura de la calidad son diversas, según la ubicación de la organización y los empleados. La cultura organizacional está directamente relacionada con la efectividad y el desempeño de la organización: cuanto más fuerte es la cultura organizacional más efectiva es la organización. Cualquier organización es un sistema abierto y complejo, que consta de muchas variables y todos estos elementos interactúan estrechamente con los factores ambientales externos, por lo que se hace necesario buscar nuevas soluciones para aumentar la eficiencia del trabajo y enfocarse en los objetivos de la organización, incluyendo aquellos relacionados con la mejora continua de la calidad, el uso de nuevas tecnologías, la implementación de un sistema uniforme de valores, normas y reglas en la organización y la cultura organizacional.

En este sentido, la administración de calidad total (TQM) ha sido uno de los métodos de cambio organizacional más aplicados, y se centra en aumentar la eficacia de las organizaciones mediante el establecimiento de objetivos de calidad (Lapina *et al.*, 2015). Una organización orientada a la calidad promueve una cultura que da como resultado actitudes, actividades y procesos que proporcionan valor mediante el cumplimiento de las necesidades y expectativas del cliente (León-Ramentol *et al.*, 2018).

La calidad es un componente muy importante y estratégico de la competitividad para las organizaciones. Por eso, se puede afirmar que la calidad en término global es un componente que determina el crecimiento de los países hacia la economía de la innovación (Priede, 2012). Uno de los sistemas de gestión de calidad más populares y reconocidos por el mundo es presentado por la norma ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization, 2015a), la cual tiene muchos beneficios, de ahí que sea tan popular entre los empresarios (Priede, 2012).

La norma ISO 9000:2015 (International Organization for Standardization, 2015b) establece que la calidad es el grado en el que un conjunto de características (rasgo diferenciador) inherentes de un objeto (cualquier cosa que puede percibirse o concebirse, como un producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema, recurso, entre otros) cumple con los requisitos (necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria).

Ahora bien, los proyectos de construcción tienen ciertas características que los diferencian de cualquier otra industria o sector productivo. Además, son únicos y complejos, con una gran variabilidad en los procesos e implican la conjunción de diversas organizaciones especializadas (contratistas) en un solo espacio durante un periodo definido (Aureliano *et al.*, 2019).

Por ello, la industria de la construcción ha rechazado muchas ideas de la industria manufacturera con la justificación de que la construcción es radicalmente distinta. De hecho, aun cuando puede haber proyectos masivos (por ejemplo, viviendas o apartamentos), cada uno de ellos es diferente de los otros. Sin embargo, la influencia de la industria manufacturera se aprecia claramente en los procesos de industrialización y prefabricación aplicados a la construcción. Esta influencia se ve claramente en la implementación de la producción ajustada (*lean production*) (Franco, 2011).

Por eso, la innovación dentro de las organizaciones comienza a jugar un papel cada vez más importante, no solo en el sentido de desarrollo de nuevos productos, sino en la innovación de los procesos que maneja la constructora, principalmente en cuanto a líneas de oportunidad y mejoramiento en el área administrativa y operativa (Sánchez, 2011).

La norma ISO 9001:2015 (2015b) promueve la adopción de un enfoque hacia los procesos

al desarrollar, implementar y mejorar la eficacia de un sistema de gestión de la calidad para aumentar la satisfacción del cliente. Por ende, los procesos constructivos para una obra de construcción son un tema de gran interés, ya que su reconocimiento permite llevar a cabo correctamente una obra, es decir, organizar, planificar, optimizar y detectar errores constructivos. Estos son los procesos mediante los cuales, a partir de la ejecución de una serie de actividades, se materializa una obra de desarrollo progresivo (Romanova, 2016).

En cuanto a las siete nuevas herramientas, si bien están más orientadas a la planificación y la administración, son extremadamente útiles para la administración y mejora de la calidad. Estas se pueden utilizar para organizar la información de modo que sea accesible y comprensible para el análisis y la planificación. Estas herramientas son el diagrama de relaciones, diagrama de afinidad, análisis de datos matriciales, diagrama de árbol, diagrama matricial, diagrama de programación de decisiones del proceso y diagrama de flechas (Kent, 2016).

MATERIALES Y MÉTODO

Materiales

Los materiales necesarios para esta investigación fueron una computadora de escritorio y otra portátil, una memoria externa de almacenamiento de datos, *software* procesador de palabras (Microsoft Word), *software* de base de datos (Microsoft Excel) y artículos de divulgación científica y tecnológica que traten del tema, además de una organización de la industria de la construcción con su personal.

También fueron empleadas las siete nuevas herramientas y en cada una de ellas se utilizaron materiales de oficina estándar como papel, lápices, marcadores, entre otros. Además, se recopiló información y documentación relevante para el estudio de la empresa a través de registros, documentación interna y los mismos empleados.

MÉTODO

El método aplicado en este estudio se determinó de acuerdo con lo que mencionan Hernández Sampieri *et al.* (2014). Es decir, se inició con un estudio exploratorio debido a que el tema de las siete nuevas herramientas en la industria de la construcción de viviendas ha sido poco utilizado en la solución de problemas que involucran a la calidad. En esta etapa se buscó generar una metodología de aplicación de las siete nuevas herramientas. Posteriormente, se trabajó con la investigación descriptiva, lo cual se relaciona con el estudio de campo donde se probó la metodología para analizar el problema. Finalmente, se realizó un estudio explicativo para encontrar las causas del problema de la baja calidad e indicar dónde y cómo deben realizarse mejoras al sistema.

Descripción del problema por atender

El proyecto se desarrolló en una empresa contratista que es constructora de viviendas de interés social ubicada al noroeste de México. La empresa lleva cinco años en el giro de la construcción y cuenta con varios departamentos que se apoyan entre sí para darle soporte. Las áreas son independientes debido a la estructura particular de la empresa.

En cuanto al proceso de obra, se puede definir como el más crítico debido al alto consumo de tiempo y costos al final de cada vivienda, por lo cual la presente investigación se enfocó en este punto. En concreto, el principal problema al que se enfrenta y el cual se va a abordar es que la empresa se está excediendo en el tiempo de entrega de las viviendas, lo cual aumenta el gasto de mano de obra y materiales.

Cabe aclarar que la empresa constructora es representada como el cliente, mientras que la empresa contratista donde fue realizado este proyecto es la proveedora que construye en gran medida la obra solicitada por la empresa constructora. Las actividades y procesos de la empresa son inestables; además, el cambio constante de los productos y mano de obra genera una mala calidad en el producto. Esto se ve reflejado en desperdicios y exceso de inventario, solo por mencionar algunos.

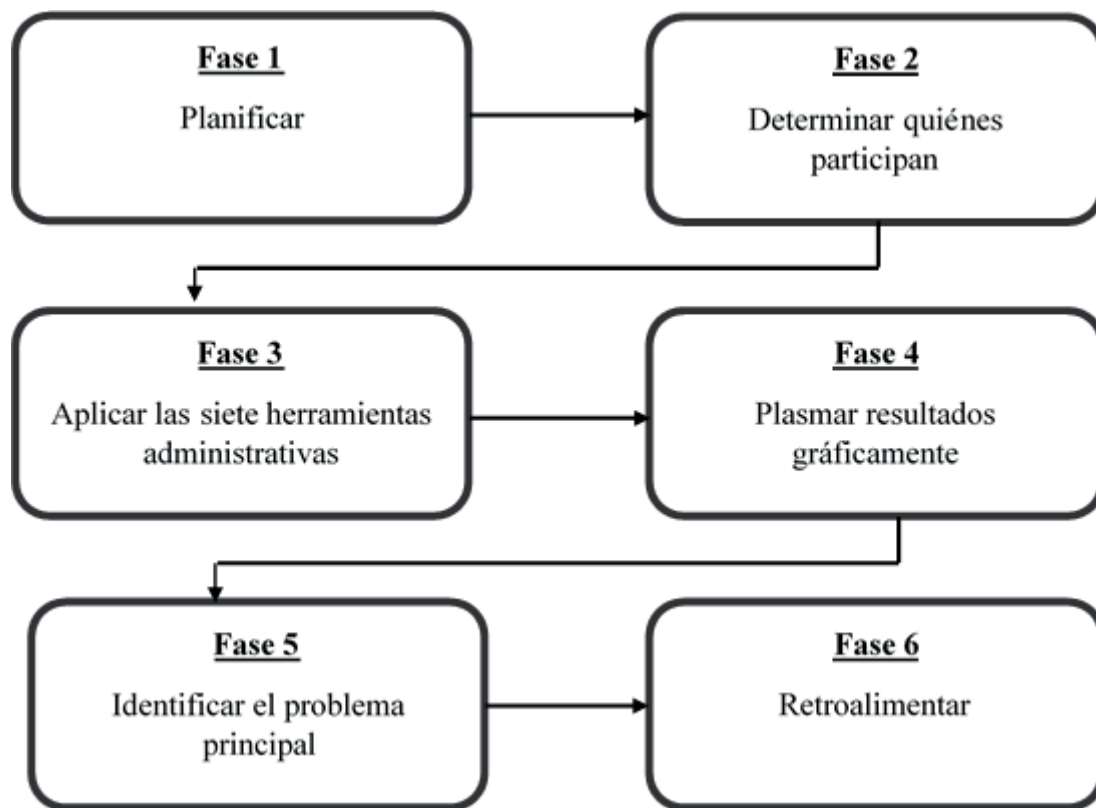
Propuesta de solución

La aplicación de las siete herramientas administrativas se divide en seis fases, donde se contemplan acciones que van desde percepción, acercamiento y conceptualización básica, la cual se basa en una metodología (figura 1). A continuación, se hace una descripción de cada una de las fases:

- 1) Planificar: Para aplicar las siete herramientas administrativas primero se tiene que establecer una necesidad para que se pueda desarrollar de una manera exitosa y llegar al punto clave de la aplicación. El tema por tratar es la falta de calidad al término de cada vivienda. En esta fase el objetivo es identificar el tema en el cual se va a centrar nuestro objetivo.
- 2) Determinar quiénes participan: Se debe determinar cuáles personas dentro de la empresa serán parte de esta aplicación; en este caso, como se quiere conocer la causa de la falta de calidad al término de cada vivienda, el grupo de personas serán las que tienen una responsabilidad directa para que esta se pueda llevar a cabo. Para implementar las siete herramientas administrativas se reunió a los jefes de cada departamento porque son una parte fundamental para detectar dichos problemas, además de otros trabajadores de apoyo.
- 3) Aplicar las siete herramientas administrativas: Al contar ya con el grupo de personas se procedió a la aplicación de las herramientas con la ayuda de las técnicas del porqué-porqué y cómo-cómo con el propósito de obtener información suficiente para desarrollar las siete herramientas administrativas.
- 4) Plasmar resultados gráficamente: Recabada la información necesaria, y con base en el panorama general, fueron desarrolladas las siete herramientas administrativas de forma gráfica que servirán a la empresa para mejorar sus procesos; así, se detectó uno de los principales problemas por el que no están obteniendo los resultados deseados al término de las viviendas.
- 5) Identificar las causas principales: Al plasmar los resultados gráficamente fueron encontradas las causas principales que se deben atacar para atender el problema; la solución salió de los propios empleados.
- 6) Retroalimentar: Esta fase consistió en presentar dentro a la empresa contratista la propuesta, la cual se debe comunicar a las personas encargadas de verificar los pro-

cesos y explicarla a los trabajadores para que se lleve a cabo de manera correcta.

Figura 1. Metodología para la aplicación de las siete herramientas administrativas



Fuente: Elaboración propia

Cada una de las fases de la metodología incluyen muchos otros aspectos que se analizaron a fondo, los cuales se desarrollaron con base en una serie de pasos; sin embargo, para fines de este artículo no se explicaron en detalle, sino que solo se expuso la idea principal de la investigación.

RESULTADOS

Los resultados principales fueron cada una de las siete herramientas administrativas conformadas gráficamente en los anexos (ver anexos del 1 al 8), así como el que presentó el final de cada una de las herramientas.

1) Diagrama de afinidad: Esta sirve para organizar la información de las ideas que se generen en equipo y así clasificarlas por temas en común, lo cual va a permitir identificar el problema en específico. Para realizar el diagrama de afinidad fue necesario reunir al equipo de trabajo conformado por los jefes de cada área o departamento.

El problema principal planteado fue determinar el porqué de la falta de calidad final en las viviendas construidas. Para ello, se hizo una lluvia de ideas sobre los posibles factores, los cuales eran anotadas en notas adhesivas y se pegaban en un pizarrón para luego clasificarlos; al mismo tiempo, y por mayoría de votos, eran eliminados aquellos que se consideraban

que no influían tanto en el problema principal. Con base en estas ideas, y en común acuerdo, se escogieron los cuatro principales factores (tarjetas de afinidad) que causaban la falta de calidad en las viviendas, es decir, falta de liderazgo (11 ideas), falta de supervisión en los procesos (10 ideas), falta de calidad en los materiales que se compran para construir (4 ideas), y trabajo en equipo (6 ideas) (ver anexo 1). Con respecto a estas tarjetas de afinidad, fueron clasificadas todas las ideas propuestas por el equipo; de este modo se detectó que el factor que más ideas generó fue la falta de liderazgo.

También se hizo un diagrama de afinidad con las propuestas de mejora para cada punto. Es decir, se hizo la misma dinámica, pero ahora con una lluvia de ideas de mejora para liderazgo, supervisión, calidad en material y trabajo en equipo (ver anexo 2). Las ideas de mejora fueron muy parecidas, en cuanto a cantidad, para los cuatro factores identificados. Esta herramienta constituye un punto de partida para desarrollar las herramientas faltantes, pues ofrece información proporcionada por las personas que participan en el proceso.

2) Diagrama de relaciones: Este sirve para localizar gráficamente los enlaces entre una idea central y otras relacionadas con ella. Con este diagrama se busca descubrir por qué a las casas les falta calidad y por qué se tarda tanto para entregárselas al cliente. Para realizar este diagrama fue necesario apoyarse en los resultados del diagrama de afinidad para identificar los principales problemas a los que se enfrenta la empresa; además, se anexaron otros dos puntos (personal no comprometido y mal manejo de personal), elementos muy importantes propuestos por el mismo equipo de trabajo.

Este diagrama consiste en encontrar el punto final de un problema, para lo cual se desglosan sus causas con el fin de descubrir su origen. Al respecto, se considera importante atender las causas finales que emergen a partir del problema principal para evitar o minimizar los efectos secundarios.

Como conclusión, se puede afirmar que los recuadros resaltados con gris son los focos rojos en la empresa o las causas principales que generan el problema; por lo tanto, es necesario encontrar la solución a cada una de esas nueve causas según su prioridad (ver anexo 3).

3) Matriz de análisis de datos: Este recurso facilita la identificación de problemas, causas y soluciones; además, sirve para proponer recomendaciones a la administración. La matriz de análisis de datos ordena los datos presentados en un diagrama matricial de tal modo que una gran cantidad de información numérica se puede visualizar y comprender con mayor facilidad (ver anexo 4).

La relación entre dos elementos se muestra cuantificada en cada celda de la matriz. Esta técnica es empleada para medir el grado de relación que existe entre varios factores. En el mismo anexo 4 está una tabla que presenta una codificación para relacionar el número con el concepto o problema derivado del diagrama de relaciones (ver anexo 3).

Al elaborar la matriz se compararon entre sí todos los conceptos para identificar si tenían entrada o salida según la estructura para la elaboración de la matriz. Al final se sumaron las entradas (columna E) y salidas (columna S) por fila para saber cuál tenía el número más alto en entradas y salidas. El problema más común tiene mayor número de flechas que entran; en este caso, la característica 6, que indica que “no hay compromiso”. La causa raíz más frecuente es aquella que tiene el mayor número de flechas que salen, es decir, la característica 4: “no se trabaja en equipo” (ver anexo 4).

Al final, la causa principal de la escasa calidad de las casas y la tardanza en la entrega al cliente, se debe a que no hay trabajo en equipo entre los integrantes de esa organización.

4) Diagrama sistemático o de árbol: En el centro del diagrama sistemático fue puesto el objetivo que se quería lograr; después se desplegó una propuesta de solución para lograr ese objetivo, y así sucesivamente. Con esto se procuró obtener una buena calidad al final de las viviendas, lo cual se puede conseguir con la propuesta de un sistema de calidad en los procesos y teniendo al personal comprometido para que realicen el trabajo como debe ser.

El sistema de calidad se va a lograr con la aplicación de hojas de trabajo en cada proceso de la empresa y siguiendo un manual de calidad para alcanzar el objetivo planteado. Esto llevará a detectar a tiempo los errores que se están cometiendo. Asimismo, se espera que la implementación de la calidad en los procesos arroje buenos resultados, como la supervisión personalizada y la entrega de viviendas sin detalles (ver anexo 5).

Por otra parte, cabe resaltar que tener un personal comprometido es de vital importancia, ya que son la base de los buenos resultados. Por eso, una de las sugerencias es contratar a empleados según el perfil del puesto e invertir en su capacitación. Además, contar con manuales de procedimientos para que el trabajador entienda la forma correcta en que se debe laborar, así como manuales de organización para dejar definido qué requisitos debe cumplir la persona contratada. Esto producirá un mayor control interno y motivación.

5) Diagrama matricial: El diagrama matricial es una herramienta grafica que muestra la relación entre ideas, problemas, causas y procesos, métodos y objetivos, y en general entre conjunto de datos en forma de una tabla. Las relaciones que existen se indican en cada intersección de filas y columnas.

La matriz L se utilizó para analizar la relación entre dos grupos de elementos entre sí (ver anexo 6), ya que es la más común para la aplicación del diagrama matricial. De forma horizontal se ubicaron las expectativas del cliente, y de forma vertical las características que la empresa contratista debe seguir para cumplir con esas expectativas.

Las características más destacadas que la empresa contratista debe promover son, en primer lugar, el tiempo de entrega de la obra; para esto, se debe manejar un programa de obra semanal donde se reflejen las actividades cumplidas y las pendientes. Otro punto por cumplir son las exigencias imprevistas, pues muchas veces surgen emergencias que el cliente quiere que se solucionen lo más pronto posible. Además, se deben llevar controles y fomentar la capacitación de los empleados.

Plasmando todos los puntos en la matriz, se relacionaron entre sí con unos símbolos, los cuales significan lo siguiente: el círculo relleno es una relación fuerte entre sí (con un valor de 9 puntos); el círculo en blanco es una relación mediana (con un valor de 5 puntos); el triángulo representa una relación débil (con un valor de 3 puntos), y los que no tienen nada significa que no se relacionan. Las que tienen relación fuerte entre sí son las que deberían trabajar en conjunto para lograr los objetivos.

Después de relacionar todas las características con las expectativas se obtienen los valores por filas (¿qué solicita el cliente?) y por columnas (¿cómo se puede solucionar o atender?). Luego, al obtener la sumatoria de todas, observamos cuál tiene mayor valor, es decir, esos serían los principales problemas que detecta el cliente (filas) y las posibles alternativas de solución (columnas).

En general, se concluye que para cumplir con las exigencias del cliente la empresa contratista debe cumplir principalmente con los tiempos de término de la obra e implementar controles, pues ambos aspectos consiguieron la primera posición en el diagrama matricial con una ponderación de 44 (ver anexo 6).

6) Gráfica de programación de decisiones por proceso: Este diagrama muestra el grado de complejidad en el alcance de un proyecto u objetivo. También enseña las posibles dificultades, lo que facilita la planificación y permite elaborar alternativas para la trayectoria establecida (ver anexo 7). Para ello, primero se determina lo que se quiere lograr; luego se detectan los posibles problemas y posteriormente se sugieren las posibles soluciones; así se repite el proceso hasta que no se encuentre ningún problema.

Ahora bien, uno de los principales problemas para controlar la calidad se halla en el rápido avance de los procesos. Esto se puede solucionar dándole el enfoque a una sola vivienda, es decir, dedicar la supervisión de calidad en una sola edificación hasta que se termine. Esto, sin embargo, pudiera generar un problema con la existencia de tiempos muertos debido, quizá, a la falta de personal, material u otro factor. Aun así, esto se pudiera atender monitoreando otra vivienda al mismo tiempo o revisando el avance según el programa de obra. Para ello, se tendría que dar seguimiento al programa que los residentes manejan, aunque dependería si ellos dan acceso a él o no. Asimismo, se podría ir tomando nota de los procesos, aunque al no conocerlos por completo se podrían recabar datos erróneos. Por otra parte, se podría recabar información del avance de las viviendas a través de evidencia fotográfica.

Como segundo problema para controlar la calidad de las viviendas se determinó que la empresa no aporta información suficiente sobre los procesos. Una solución sería hacer presencia en cada uno de ellos, lo cual, sin embargo, resulta poco complicado debido a que no tienen horario establecido. Además, podrían surgir inconvenientes con el permiso para estar en dichos procesos, ya que muchas veces, por seguridad, no se permite la presencia de externos. Por ende, una solución sería pedir un manual de procedimientos.

Por último, en cuanto al problema con la detección de errores difíciles de controlar, se propone documentar los que se vayan presentando en cada vivienda. Así se pueden prever aquellos más frecuentes y evitar cometerlos de nuevo. Si bien los problemas a los que se pudieran enfrentar las casas son diversos, se podrían clasificar por grupos para tener una base de datos a la cual acudir según la naturaleza del inconveniente.

Ahora bien, los factores que están marcados con cruz al final de cada proceso son aquellos viables para utilizar, mientras que los de círculo son los que sí se podrían implementar. Este diagrama, además, ayuda a identificar las rutas que podrían llevar a solucionar el problema presentado.

7) Diagrama de flecha: Con base en los resultados que arrojaron las herramientas anteriores, se optó por desarrollar el diagrama de flecha para un manual de procedimientos (ver anexo 8). Este, además, fue considerado para la conformación de un manual de procedimientos para la empresa contratista, pues se considera que es uno de los aspectos principales que se tienen que implementar en una organización para lograr el objetivo deseado, sin minimizar la importancia de considerar las otras alternativas señaladas con las otras herramientas administrativas.

Ahora bien, el primer paso que se debe llevar a cabo para elaborar un manual de procedimientos en la organización es determinar la actividad del nodo uno al nodo dos, que consis-

te en la detección de puestos de la misma (del primer al segundo nodo se lleva una semana en realizarlo). Como segunda actividad, se deben identificar las tareas que se deben de realizar (del segundo al tercer nodo se lleva una semana en realizarlo). La tercera actividad es hacer la descripción de puestos (del tercer al cuarto nodo le fue asignado un aproximado de tres semanas). Del nodo tres al cinco se hace la estructura del manual de procedimientos, el cual se tardaría una semana en realizarlo. Del nodo tres al seis se hace la entrevista con el trabajador experto para conocer el proceso más detalladamente, el cual tardaría tres semanas en realizarse. Del nodo tres al siete se toma evidencia fotográfica para incluirla en el manual (tiempo aproximado: cuatro semanas).

Recabada toda la información, se prosigue con la actividad del nodo cuatro al ocho, y del nodo cinco al ocho, que sería llenar el formato con la información adquirida, el cual llevaría un tiempo de una semana para cada uno. En la actividad del nodo seis al nueve y del nodo siete al nueve se pone el proceso especificado con la evidencia fotográfica, con un tiempo de una semana cada uno. En la actividad del nodo ocho al diez y del nodo nueve al diez se llenan los formatos finales, con un tiempo de actividad de una semana cada uno.

Para finalizar con el diagrama de flecha se busca la ruta más tardada para identificar en cuál proceso se lleva más tiempo y qué se puede hacer para agilizarlo. Las actividades que involucran los nodos uno, dos, tres, siete, nueve, diez y once representan la ruta más tardada o crítica.

DISCUSIÓN

La investigación realizada por Santelices *et al.* (2019) engineering, and construction (AEC muestra varios problemas que tiene la industria de la construcción relacionados directamente con la gestión de la calidad, los cuales son clasificados en temas de planeación, administración y control. Entre estos problemas están las diferencias de criterio entre el personal, personal que no sigue recomendaciones del fabricante, inexistencia del plan maestro, controles que no se siguen, bajo nivel de supervisión durante la ejecución de los trabajos en obra, coordinación ineficiente, personal no calificado, sin experiencia o no capacitado, responsabilidades y roles mal definidos, bases administrativas y/o documentos mal definidos, inexistencia de estándares completos para evaluación de la calidad, entre otros. Estos problemas, en su mayoría, pertenecen a la categoría *planificación de la calidad y coinciden*, en algunos casos, con los encontrados y analizados en esta investigación. En síntesis, se puede afirmar que los problemas de calidad en la industria de la construcción son cotidianos, y conocerlos desde etapas tempranas puede ayudar a tomar decisiones para mejorar los índices de calidad, productividad, tiempos y costos.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que, al desarrollar las siete herramientas administrativas en una empresa constructora de viviendas, fue posible encontrar las causas y las alternativas de solución para mejorar la calidad de las viviendas. En efecto, la implementación de las siete herramientas administrativas permitió que la organización estudiada tuviera una visión más clara de la situación en la que se encuentra, lo que le permitirá tomar decisiones mejor informadas.

Por supuesto, somos conscientes de que la implementación de algunas soluciones puede resultar en una labor muy compleja, pues se debe generar un consenso entre personas que pudieran tener diferentes puntos de vista. Aun así, se debe tener en cuenta que muchas organizaciones tienen problemas similares que han sido atendidos con estrategias como las señaladas en este documento. Por ejemplo, se puede proponer un manual de procedimientos en el que participen todos los trabajadores de la organización; además, se deben seleccionar las herramientas correctas y utilizarlas de forma apropiada según las particularidades de cada problema.

Futuras líneas de investigación

Como futura línea de investigación se propone analizar, con esta metodología y herramientas, otros problemas que no se atendieron y que pueden estar ligados con el problema principal planteado en este estudio; además, se pueden atender las otras causas que no fueron consideradas en este documento y proponer soluciones alineadas con las nuevas tendencias de esta industria asociadas a la reducción de desperdicios, estandarización, automatización, industria 4.0, entre otros.

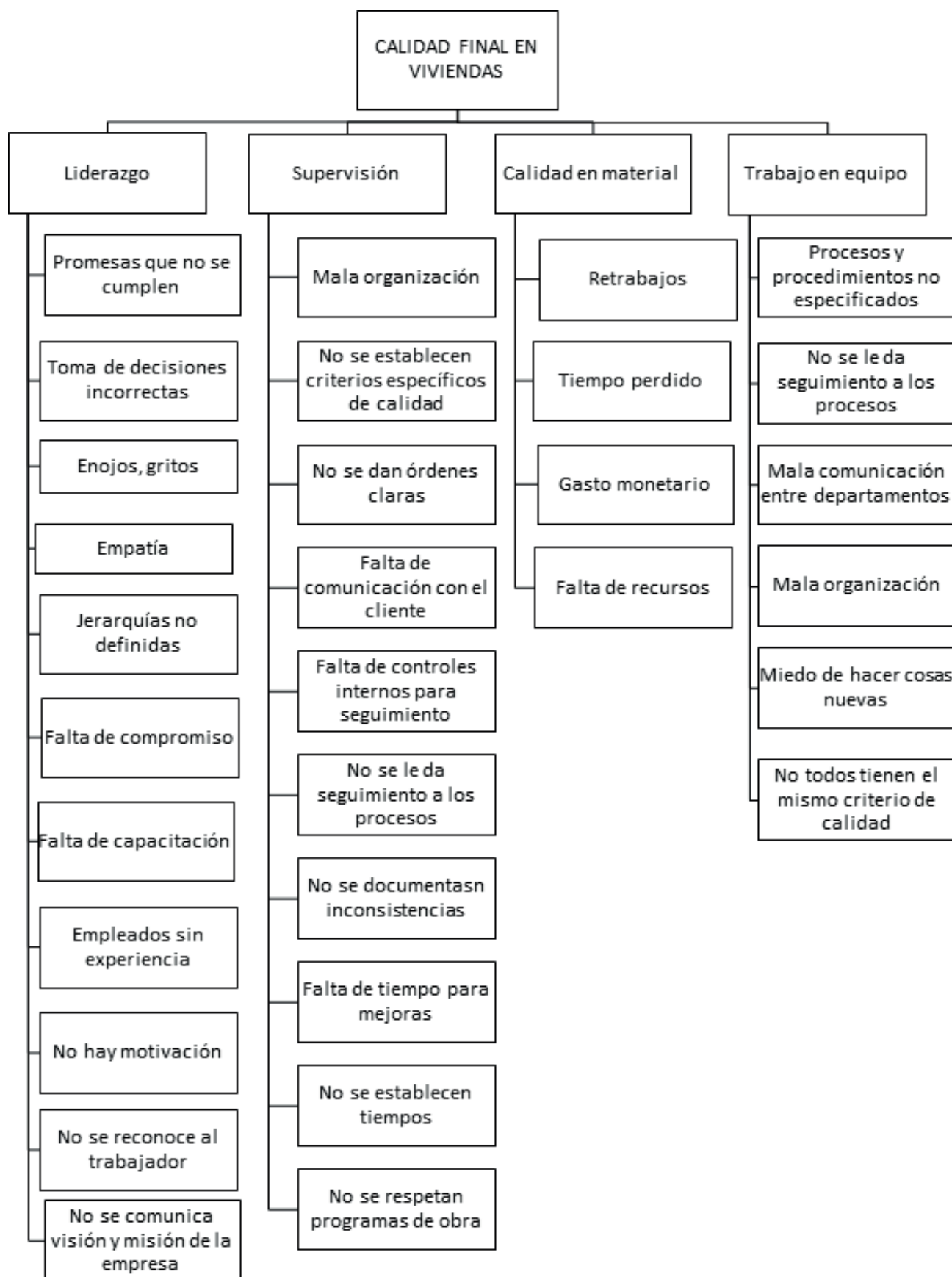
Además, se puede considerar usar las siete herramientas básicas de la calidad junto con otras metodologías de solución de problemas, como las 8D (8 disciplinas), entre otras, pues los problemas pueden ser diferentes entre sí, de ahí que se requieran múltiples formas de atenderse.

REFERENCIAS

- Adina-Petruța, P. (2014). Quality Culture - A Key Issue for Romanian Higher Education. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 116, 3805–3810. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.845>
- Aureliano, F., Costa, A., Júnior, I. F. and Rodrigues, R. A. (2019). Application of lean manufacturing in construction management. *Procedia Manufacturing*, 38, 241–247. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.032>
- Franco, J. J. (2011). *Valoración de pérdidas en la industria de la construcción de vivienda en Centroamérica* (tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/570700/DocsTec_11668.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ginting, R. and Fattah, M. G. (2020). Production quality control with new seven tools for defect minimization on PT. Dirgantara Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 452(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/452/1/012082>
- Grigoryan, E. and Golubkova, I. (2020). Seven Tools for Quality Management and Control: Theory and Practice. *Proceedings of the International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020)*, 139, 528–535. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200509.094>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S .A. de C.V.
- International Organization for Standardization (2015a). *ISO 9000:2015, Quality management systems-Fundamentals and vocabulary*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en>
- International Organization for Standardization (2015b). *ISO 9001:2015, Quality management systems-Requirements*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:en>
- Kent, R. (2016). *Quality Management in Plastics Processing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03226-6>
- Lapiņa, I., Kairiša, I. and Aramina, D. (2015). Role of Organizational Culture in the Quality Management of University. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 213, 770–774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.472>
- León-Ramentol, C. C., Menéndez-Cabezas, C. A., Rodríguez-Socarrás, I. P., López-Estrada, B., García-González, M. C. y Fernández-Torres, S. (2018). Importancia de un sistema de gestión de la calidad en la Universidad de Ciencias Médicas. *Rev. Arch Med Camagüey*, 22(6), 843–857. <https://revistaamc.sld.cu/index.php/amc/article/view/5777/3241>
- Pramono, S. N., Ulkhaq, M. M., Rachmadina, D. P., Trianto, R., Rachmadani, A. P., Wijayanti, W. R. and Dewi, W. R. (2018). The use of quality management techniques: The application of the new seven tools. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 15, 105–112. [https://doi.org/10.6703/IJASE.201810_15\(2\).105](https://doi.org/10.6703/IJASE.201810_15(2).105)
- Priede, J. (2012). Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and Its Strategic Necessity. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 58, 1466–1475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1133>

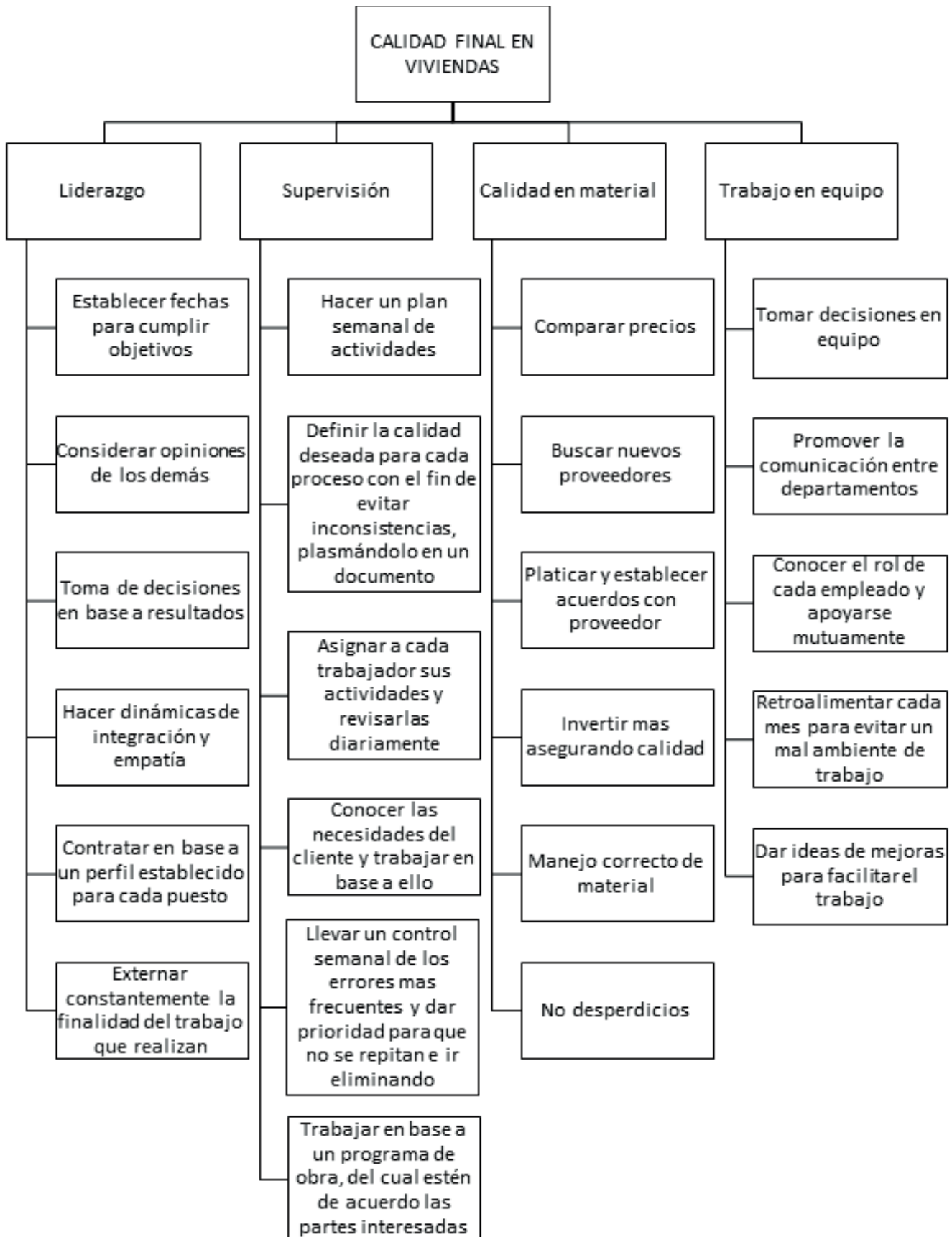
- Romanova, A. I. (2016). Improving the Quality of Construction Works in Terms of the Self-regulation. *Procedia Engineering*, 150, 2108–2112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.248>
- Sánchez, J. C. J. (2011). La innovación: una revisión teórica desde la perspectiva de marketing. *Perspectivas*, 27, 47–71.
- Santelices, C., Herrera, R. F. and Muñoz La Rivera, F. (2019). Problems in quality management and technical inspection of work: a study applied to the chilean context. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(3), 242–251. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300242>

Anexo 1. Diagrama de afinidad ideas iniciales



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Diagrama de afinidad ideas para mejorar



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Diagrama de relaciones



Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Matriz de análisis de datos

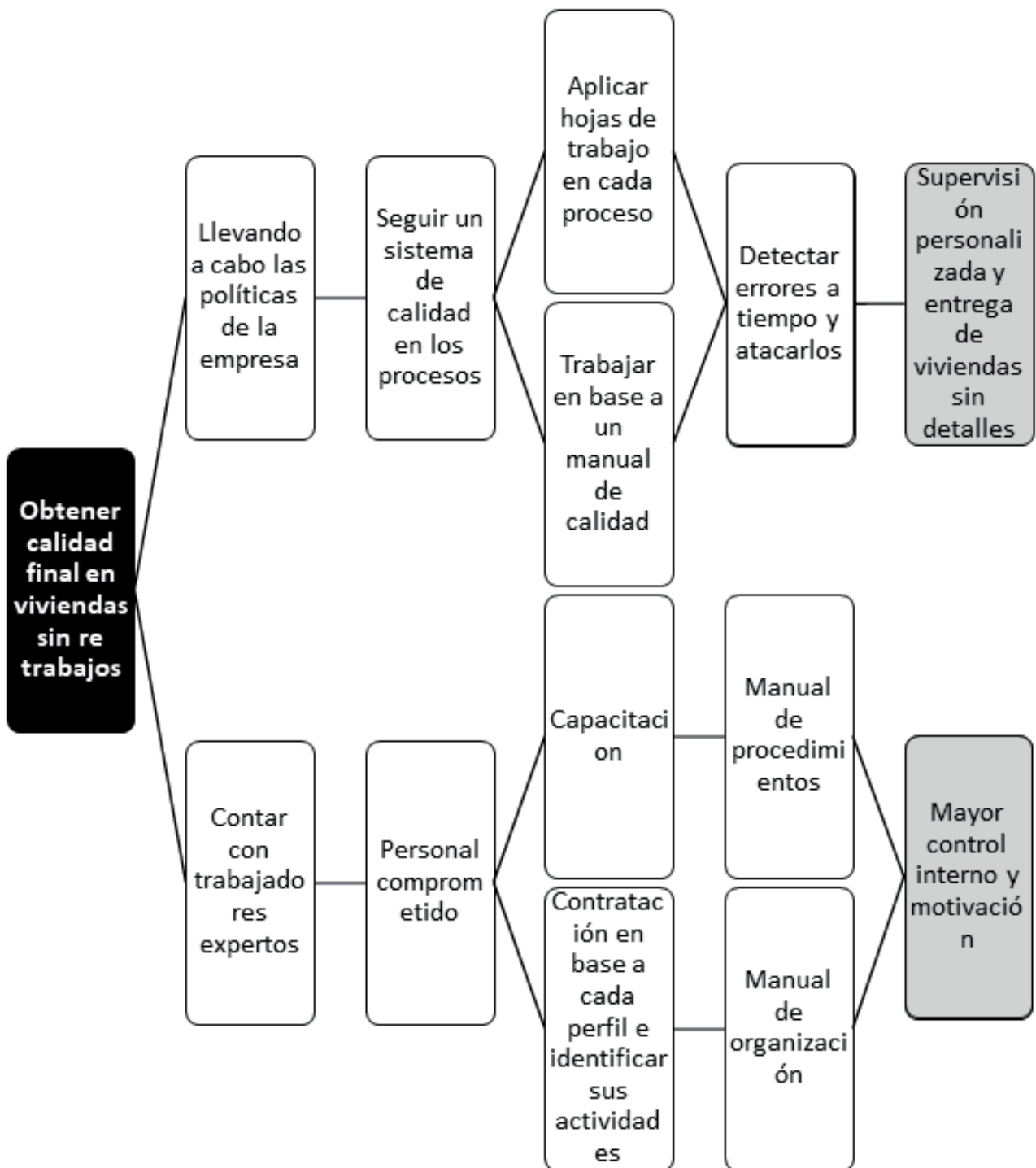
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	S	E					
1	X																																			4		
2		X																																			1	
3			X																																		3	
4				X																																	6	
5					X																																1	
6						X																															3	
7							X																														2	1
8								X																													1	2
9									X																												1	1
10										X																											1	1
11											X																										1	1
12												X																									1	1
13													X																								2	1
14														X																							2	1
15															X																						1	1
16																X																					2	
17																	X																				2	1
18																		X																			1	1
19																			X																		1	
20																				X																	1	
21																					X																1	1
22																						X															1	
23																							X														1	
24																								X													2	2
25																									X												1	
26																										X											1	2
27																											X										1	1
28																												X									1	
29																													X							2	1	
30																														X						1	1	
31																															X					1		

CODIFICACIÓN	
1	No hay supervisión
2	Personal no comprometido
3	Falta de calidad en material
4	No se trabaja en equipo
5	Se manejan por urgencias
6	No hay compromiso
7	Mala organización
8	No se establecen criterios de calidad
9	Falta de comunicación con el cliente
10	Falta de tiempo
11	Muchas actividades
12	Miedo hacer cosas nuevas
13	No hay confianza
14	No hay unión
15	No hay comunicación
16	Jerarquías no definidas
17	Falta de empatía
18	Enojos y gritos
19	Mal manejo de personal
20	Falta de liderazgo en subordinados
21	No se dan órdenes claras
22	Toma de decisiones incorrectas
23	No estan establecidas especificaciones
24	Material mas económico
25	Se compra por urgencia
26	Re trabajos
27	Mal manejo de material
28	Tiempo perdido
29	Falta de capacitación
30	No se tiene perfil de personal para puestos
31	Se contrata por urgencia

←	Flecha que entra: 6 NO HAY COMPROMISO
↑	Flecha que sale: 4 NO SE TRABAJA EN EQUIPO

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Diagrama sistemático o de árbol



Fuente: Elaboración propia

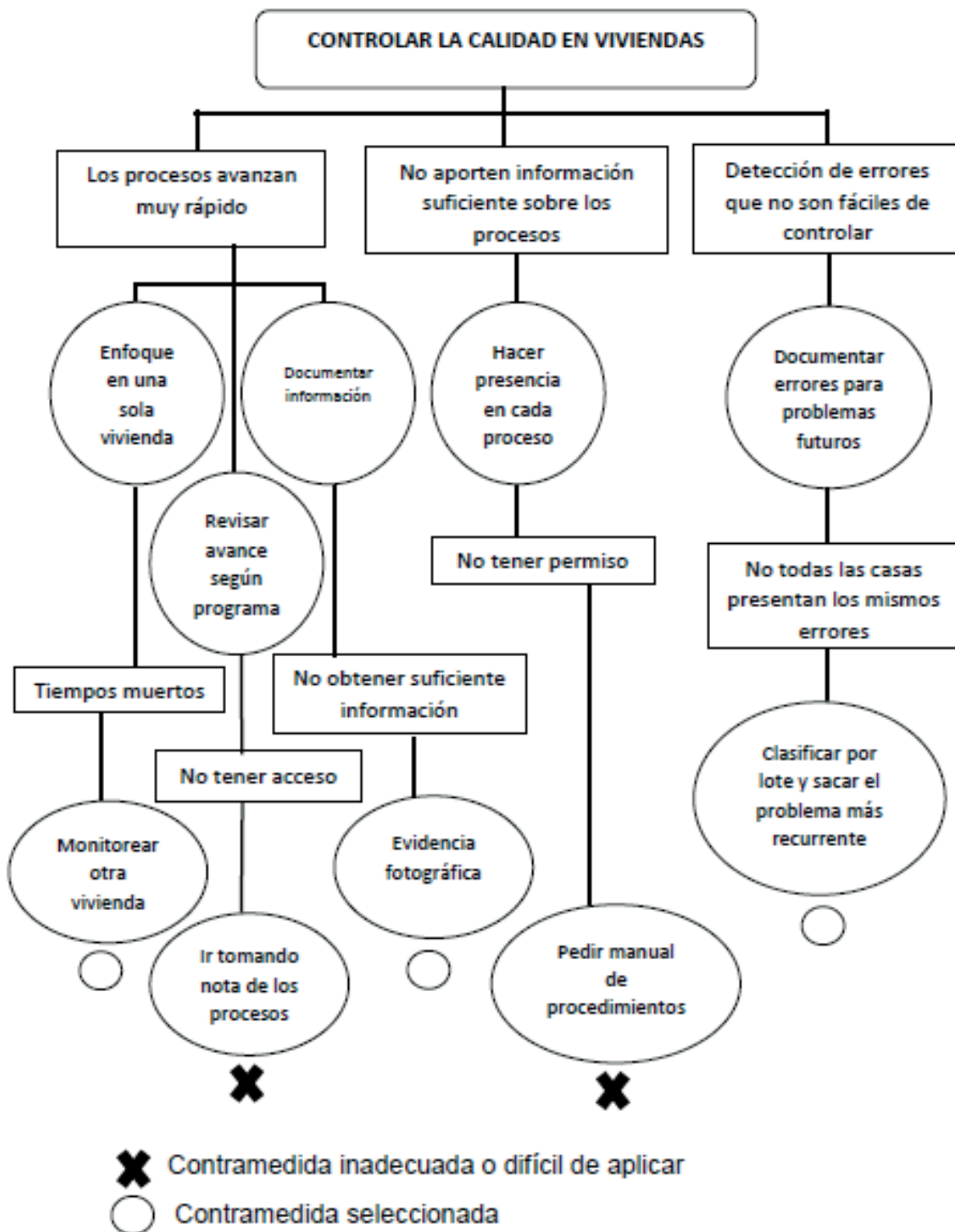
Anexo 6. Diagrama matricial

Expectativas del cliente	CARACTERISTICAS DE EMPRESA					
	Tiempo de termino según programa de obra	Cumplir con exigencias de momento	Llevar procesos y controles	Capacitaciones	Numeracion	Posicion
Entrega de viviendas a tiempo	●	△	●	○	26	2
No re trabajos (extras)	●		●	●	27	1
Priorizar urgencias	△	●	△	△	18	4
Cumplir con programa de obra	●	△	●		21	3
Trabajadores expertos	●		●	●	27	1
Avance rapido	○	△	○	○	18	4
Numeracion	44	18	44	31		
Posicion	1	3	1	2		

●	○	△
Relacion fuerte	Relacion Mediana	Relacion Debil
9	5	3

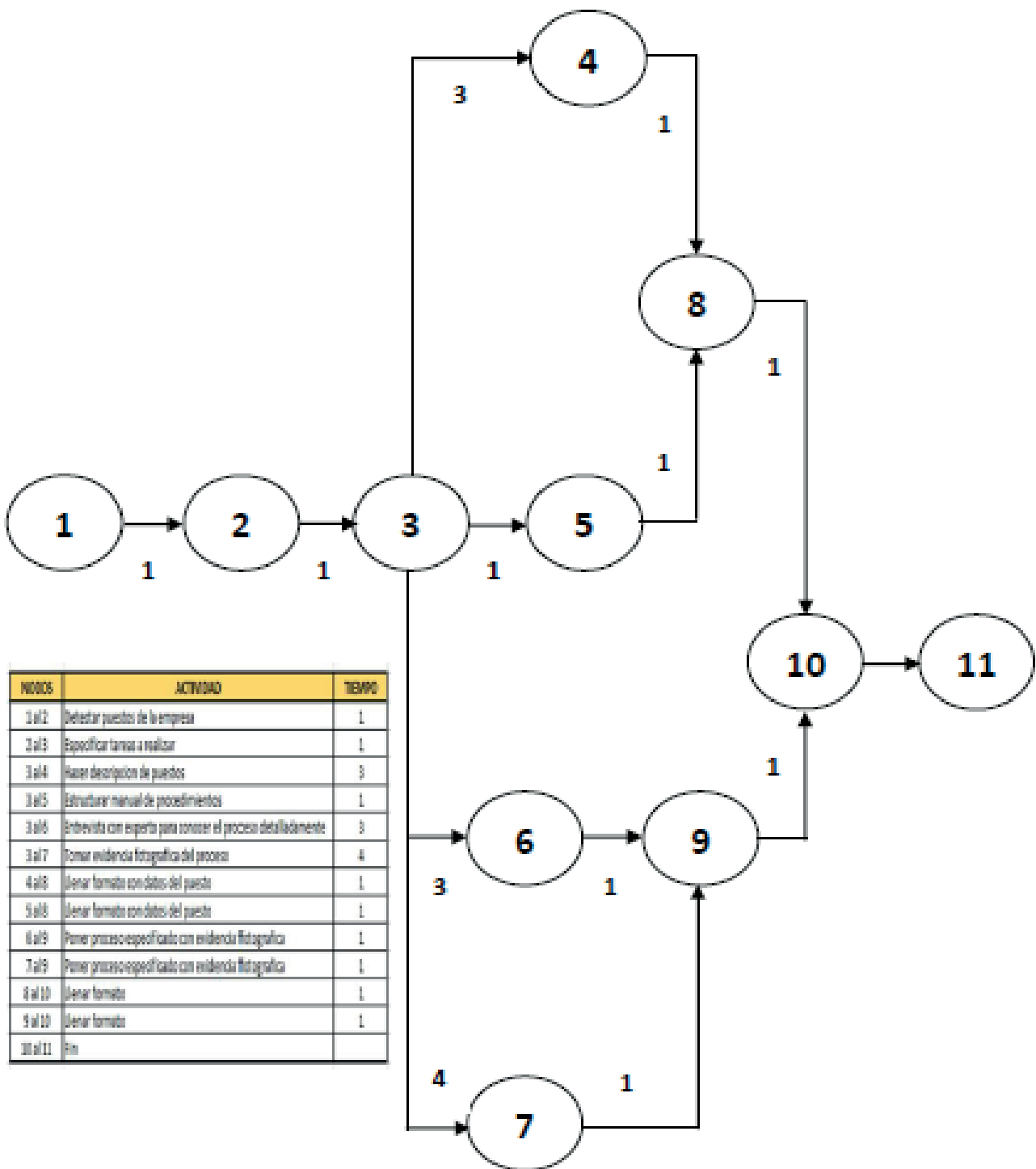
Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Gráfica de programación de decisiones



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Diagrama de flechas para manual de procedimientos



Fuente: Elaboración propia

Costos de calidad en una compañía de proceso continuo. Un estudio de caso de seguimiento y confirmación

Quality Costs in a Continuous-Process Company. A Follow-up and Confirmation Case Study.

Diego Adiel Sandoval Chávez

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez

dsandoval@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2536-1844>

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez

manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0003-1676-0664>

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

eduardo.po@cdjuarez.tecnm.mx

RESUMEN

Frecuentemente, los estudios para determinar el costo de la calidad son ejercicios transversales que no permiten apreciar la evolución de esta importante variable en una temporalidad longitudinal. La teoría que sustenta el estudio del costo de la calidad se ha visto enriquecida con la incorporación de costos intangibles y de oportunidad que la rigidez de los modelos clásicos no permitía considerar. Por eso, el objetivo de esta investigación fue conducir un estudio confirmatorio de determinación del costo de la calidad en una compañía manufacturera de bloques de concreto cuyo proceso es continuo. Para ello, se consideraron los apartados del modelo de costos tangibles prevención-evaluación-falla y tres elementos de costos de oportunidad. Durante seis meses, en la misma organización donde hace casi 30 años se realizó un estudio inicial, se recolectaron los costos tangibles y los de oportunidad, que incluyen inadecuado manejo de materiales, subutilización de la capacidad instalada y mal servicio postventa. Los resultados permitieron confirmar que es posible alcanzar el 100% de calidad de conformidad a costo finito. Además, se evidenció que los costos intangibles y de oportunidad son en conjunto el principal componente del costo de la calidad. También se corroboró la importancia estratégica del costo de la calidad como elemento de decisión para la identificación de estrategias rentables. Por último, se presentan las conclusiones derivadas del estudio, las recomendaciones, así como las limitaciones y la agenda de investigación para trabajos futuros.

Palabras clave: modelo PAF, costos intangibles de calidad, subutilización de la capacidad instalada, inadecuado manejo de materiales, inadecuado servicio inadecuado.

ABSTRACT

Frequently, studies to determine the cost of quality are cross-sectional exercises that do not allow for the appreciation of the evolution of the behavior of this important cost over a longitudinal timeframe. The theory underlying the study of the cost of quality has been enriched

by the incorporation of intangible and opportunity costs that the rigidity of classical models did not allow for consideration. The objective of this research was to conduct a confirmatory study to determine the cost of quality in a continuous process manufacturing company of concrete blocks. The sections of the tangible cost model - prevention-evaluation-failure - and three elements of opportunity costs were considered. Over a period of six months, in the same organization where an initial study was conducted almost 30 years ago, tangible and opportunity costs were collected, including inadequate materials handling, underutilization of installed capacity, and poor delivery service. The results confirmed that it is possible to achieve 100% quality of conformance at a finite cost. Furthermore, it was confirmed that intangible and opportunity costs together are the main component of the cost of quality. The strategic importance of the cost of quality as a decision element for the identification of profitable strategies was also confirmed. The conclusions derived from the study, recommendations, as well as the limitations and research agenda for future work, are presented.

Keywords: PAF model, intangible quality costs, installed capacity underutilization, inadequate materials handling, poor delivery service.

INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas se hace referencia al estado de proceso perfecto (*perfect process state, PPS*) como un escenario ideal en el que la producción de una organización manufacturera opera a su máxima capacidad y en armonía para producir bienes que satisfacen los requerimientos de los clientes a un costo mínimo para la firma (Benneyen, 1992). Sin embargo, el PPS es difícil de lograr en la práctica cotidiana de las empresas de manufactura. El escenario más probable es que la compañía se vea en la necesidad de realizar desembolsos para recuperar la calidad de sus productos por diversas causas, tales como fallas en las pruebas, defectos de ensamble, daños en el manejo de las unidades o deficiencias en el diseño.

El aseguramiento de la calidad también incluye los costos por evaluar la conformidad de los productos durante el proceso, así como aquellos desembolsos tendientes a prevenir la ocurrencia de errores que puedan convertirse en defectos. Al respecto, existe abundante evidencia empírica que sustenta estas afirmaciones (Psomas *et al.*, 2022; Schiffauerova y Thomson, 2006).

El impacto económico de las desviaciones más comunes del PPS se relaciona con la calidad de los productos, lo cual se conoce como *costo de la calidad (cost of quality, COQ)*. Los orígenes del COQ se remontan a la década de los cuarenta del siglo pasado cuando se le identificaba con la metáfora “el oro en la mina” para referirse a que la inversión en prevención de problemas de calidad era rentable. Aunque aún restringido al costo de la conformidad con las especificaciones, el concepto se cimentó formalmente a raíz del trabajo seminal de Juran (1951), quien categorizó el COQ en tangible e intangible de acuerdo con la viabilidad de ser cuantificado.

El modelo prevención-evaluación-falla (*prevention, appraisal, failure, PAF*) se concibió a raíz de los postulados de Feigenbaum (1956), quien además acuñó el concepto *control total de calidad (total quality control, TQC)*. Antes de este esquema, las clasificaciones de COQ eran incipientes y ciertamente limitadas. Una vez desarrollado el modelo PAF, su uso se generalizó hasta desarrollarse el estándar MIL-Q-9858a en Estados Unidos y el BS 6143 en Gran Bretaña.

A pesar de su uso generalizado, el modelo PAF no está exento de críticas. A principios de la década de los 1960 se propuso un esquema que separaba el COQ en dos componentes: a) el costo del control, que se compone de los desembolsos relativos a la prevención y la evaluación de la calidad; y b) el costo de la falta de control, compuesto por los desembolsos por fallas internas y externas. Este modelo planteaba que el COQ total se encontraba en la intersección de las dos curvas relativas al costo del control y el de la falta de control. La principal crítica a este modelo es que para minimizar el COQ total era necesario la presencia de cierta fracción de productos defectuosos, ya que de otra manera las inversiones en los costos del control no se verían compensadas por una disminución en los costos de la falta de control (Schneiderman, 1986).

Sin embargo, en los mercados modernos de alto dinamismo la presencia de defectos erosiona la competitividad y el posicionamiento de las organizaciones. Por esta razón, se revisó el modelo tradicional hacia una versión en la que el COQ total encuentra el mínimo cuando se alcanza el nivel cero defectos (Juran y Gryna, 1993). El desarrollo de este modelo fue a nivel conceptual sin que se tuviera un correlato empírico que lo confirmara. Una discusión a fondo del estado de la cuestión hasta el desarrollo del modelo anterior es presentada por Sandoval-Chávez y Beruvides (1998).

En los años recientes el enfoque para el desarrollo de clasificaciones y modelos de COQ se ha vuelto más dinámico. Además de los rubros que establece el modelo PAF, es común encontrar otras categorías, principalmente relacionadas con los costos intangibles y de oportunidad (*intangible and opportunity costs, IOC*) (Kau y Nel, 2019). Los IOC adquirieron preponderancia a partir de diversos casos de estudio que reportaron cuantiosos ahorros en su aplicación; además, desde la academia se destacó su importancia (Carr, 1992; Tatikonda y Tatikonda, 1996).

Una cuestión que gravitaba en el tratamiento académico es que la calidad de conformidad —es decir, el apego a las especificaciones— era la condición crítica que determina la naturaleza del COQ. Sin embargo, el trabajo de Sandoval-Chávez y Beruvides (1998), basado en la aportación original de Sandoval-Chávez (1994), mostró que era posible alcanzar el 100 % de calidad de conformidad a costo finito, lo que constituyó un hallazgo inédito en la literatura. En la mencionada investigación se encontró que los IOC representaban el componente principal del COQ, tanto en ingresos no obtenidos como en utilidades perdidas, pues supera los montos de los rubros del modelo PAF, otro hallazgo inédito en la literatura. Desde entonces, la identificación y cuantificación del COQ en las organizaciones se ha extendido como una práctica estándar.

El trabajo de Psomas *et al.* (2022) reveló que en la literatura son numerosos los casos prácticos de éxito para determinar el COQ y el efecto positivo en el desempeño de las organizaciones que trae consigo el adoptar modelos. Esa investigación también destacó que organizaciones de diferentes sectores adoptan prácticas de monitoreo del COQ y que se han identificado los factores que influyen en su medición. Asimismo, que se han añadido nuevas categorizaciones al modelo PAF y que el rol del gobierno puede influir en la determinación del COQ, ya que sectores como el médico, el aeronáutico o el automotriz son sujetos de estrictas regulaciones gubernamentales.

Con esto, se percibe como firme la idea de que la identificación y el monitoreo de los elementos que conforman el COQ son estrategias rentables en las organizaciones. Sin embargo, desde la perspectiva académica prevalece una ventana de oportunidad, ya que los estudios que se reportan son ejercicios de temporalidad transversal.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue conducir un estudio confirmatorio de determinación del COQ en una compañía manufacturera de bloques de concreto para la construcción, considerando los apartados del modelo PAF y los elementos que conforman los IOC.

La originalidad de este trabajo reside en que no se conoce ningún caso en la literatura en el cual se haya conducido un estudio en el mismo lugar casi tres décadas después para dar cuenta de la manera en la que la conformación del COQ evoluciona a medida que la tecnología y métodos de gestión de manufactura lo hacen también. Con este marco, esta investigación pretende seguir y confirmar los estudios de Sandoval-Chávez (1994) y Sandoval-Chávez y Beruvides (1998), para lo cual se establecen dos objetivos secundarios: a) conocer la dinámica del COQ en cuanto a los rubros del modelo PAF y los elementos de los IOC en la organización bajo estudio, y b) evaluar la prevalencia de la importancia estratégica del COQ para la organización a partir de nuevos escenarios de tecnología, métodos y gestión de sistemas de manufactura.

MÉTODO

Tipo de investigación y consideraciones metódicas

Se estableció un estudio confirmatorio, longitudinal y cuantitativo, en un espacio temporal de seis meses. De acuerdo con el estudio original de Sandoval-Chávez (1994), para la recolección de los apartados del modelo PAF del COQ se adoptó una combinación de la taxonomía de la Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC, hoy conocida como American Society of Quality, ASQ) (ASQC, 1961) y la clasificación BS-6143 del estándar británico BS6143 parte 2 (BSI, 1990). Esta clasificación, además de ser la considerada en la investigación anterior, ha permanecido en uso hasta la actualidad (Psomas *et al.*, 2022). Con este marco, se presenta la misma estructura en el mismo escenario, lo que permite el estudio confirmatorio.

Después de casi 30 años, las condiciones de la firma ABC han cambiado. Además de los adelantos en manufactura y prácticas de gestión, la situación fiscal de ABC está sujeta a mayor escrutinio. Por este motivo, para preservar la confidencialidad, a los datos originales se les aplicará una transformación lineal del tipo $ax + b$. Esta transformación no afecta la naturaleza esencial de los datos. Por otro lado, se asume que cuando el equipo de producción no está en paro por fallas o tiempo ocioso, las plantas operan a su máxima capacidad.

El sitio de estudio, el proceso de producción y las condiciones del mercado

La organización sujeta de estudio —a la que se le hará referencia como ABC— se localiza en Ciudad Juárez, México. La firma es una división de un corporativo ahora multinacional que se dedica principalmente a la manufactura de bloques de concreto para la construcción. En las instalaciones de ABC también se ubican unidades dosificadoras en las que se produce concreto de diferentes resistencias para su distribución en el mercado de la ciudad y sus alrededores. Los agregados, tanto para la producción de bloques como de concreto, son surtidos mediante proveeduría local desde una compañía filial. El cemento se adquiere a un consorcio también multinacional asentado en la ciudad.

La manufactura de bloques de concreto es un proceso continuo, es decir, se presenta un alto volumen de producción y una baja variedad de productos, sin que se cuente con inventario de producción en proceso (work in process, WIP). En su forma más simple, un bloque de concreto se conforma de una mezcla de material calcáreo —subproducto de la trituración de elementos pétreos—, grava, cemento y agua. Mediante maniobras de manejo de materiales, un trascabo acerca los agregados y un montacarga el cemento, si la presentación es en sacos; de otra manera, se almacena a granel en silos y se suministra por gravedad. Un transportador deposita los agregados y el cemento en una mezcladora en dosis preestablecidas y debidamente validadas para obtener una resistencia a la compresión de al menos 60 lb/in². Mediante un transportador de banda, la mezcla pasa a un equipo automático para el proceso de vibropresado en el que se aplica presión y vibración para consolidar la mezcla. En este mismo proceso, mediante dados calibrados, se le da forma al bloque de acuerdo con las dimensiones requeridas. A continuación, las unidades pasan mediante un mecanismo de transporte automático a una cámara de curado en vapor en el que se consolida el proceso de fraguado de la mezcla. Después de este proceso, se conforma la unidad de carga, la cual consiste en paletas de madera cubiertas con hule de embalaje y una etiqueta de identificación digital.

El mercado de bloques de concreto en la ciudad es amplio, la economía de la ciudad es boyante y la demanda de vivienda ha ido en aumento (Aguilar et al., 2023). La firma ABC opera tres plantas y la capacidad de instalada de ABC es vendida en su totalidad, de forma que la producción de bloques está comprometida por contrato a grupos constructores, principalmente de vivienda social. No se tiene venta a granel al público ni a minoristas.

El modelo empírico de estimación del COQ

El modelo empírico desarrollado por Sandoval-Chávez (1994) y Sandoval-Chávez y Beruvides (1998) para expresar el COQ se basó en las particularidades de la firma ABC, como sigue:

$$COQ_T = \zeta_P + \zeta_A + \zeta_F + \zeta_O \quad (1)$$

Donde:

COQ_T	Costo de calidad total expresado como ingresos perdidos y utilidades no obtenidas.
ζ_P	Costo total de los apartados de prevención.
ζ_A	Costo total de los apartados de evaluación.
ζ_F	Costo total de los apartados de falla.
ζ_O	Pérdidas causadas atribuidas a los factores de oportunidad.

El componente ζ_O incluye los factores de costos de oportunidad que identificó Sandoval-Chávez (1994). Cada factor se expresa como ingresos perdidos y utilidades no obtenidas. Considerando lo anterior, sea:

v_{PO}	total de unidades solicitadas en las órdenes de compra
v_{RD}	cantidad real de unidades entregadas ($v_{PO} > v_{RD}$).
v_{BT}	total de unidades dañadas debido al inadecuado manejo de materiales en planta.
v_{BD}	total de unidades dañadas debido al inadecuado manejo de materiales en la entrega.
w_p	precio ponderado de venta por unidad.
π_w	utilidad ponderada por unidad.
i_C	capacidad instalada por planta (unidades/hora, unidades/turno).
t_D	tiempo total ocioso o de paro

a. Pérdidas de oportunidad asociadas con el mal servicio de entrega.

$$C_{OD} = (v_{PO} - v_{RD}) * w_p \quad (2)$$

$$C_{OD}^* = (v_{BT} - v_{BD}) * \pi_w \quad (3)$$

Donde:

C_{OD} costos de oportunidad en ingresos perdidos atribuidos al mal servicio de entrega.

C_{OD}^* costos de oportunidad en utilidades no obtenidas atribuidos al mal servicio de entrega

b. Pérdidas de oportunidad asociadas con el inadecuado manejo de materiales.

$$C_{OM} = (v_{BT} + v_{BD}) * w_p \quad (4)$$

$$C_{OM}^* = (v_{BT} + v_{BD}) * \pi_w \quad (5)$$

Donde:

C_{OM} costos de oportunidad en ingresos perdidos atribuidos al inadecuado manejo de materiales.

C_{OM}^* costos de oportunidad en utilidad no obtenida atribuidos al inadecuado manejo de materiales.

c. Pérdidas de oportunidad asociadas con la subutilización de la capacidad instalada.

$$C_{OC} = (t_{ID})(i_c) * w_p \quad (6)$$

$$C_{OC}^* = (t_{ID})(i_c) * \pi_w \quad (7)$$

Donde:

C_{OC} costos de oportunidad en ingresos perdidos atribuidos a la subutilización de la capacidad instalada.

C_{OC}^* costos de oportunidad en utilidades no obtenidas atribuidos a la subutilización de la capacidad instalada.

Una vez que se definieron los componentes de oportunidad, el modelo COQ se expresa mediante:

$$COQ_T = \zeta_P + \zeta_A + \zeta_F + [(v_{PO} - v_{RD}) + (v_{BT} + v_{BD}) + (t_{ID})(i_c)]w_p \quad (8)$$

$$COQ_T = \zeta_P + \zeta_A + \zeta_F + [(v_{PO} - v_{RD}) + (v_{BT} + v_{BD}) + (t_{ID})(i_c)]\pi_w \quad (9)$$

RESULTADOS

Modelo PAF

El esquema de recolección de los apartados del modelo PAF se resume en la tabla 1. En este estudio confirmatorio se descubrió que, en lo referente a los costos de prevención, además de los apartados correspondientes a los rubros *mantenimiento de equipo de producción para aseguramiento de calidad y calibración* —que se presentaban en el estudio original— ahora se invierte en entrenamiento y capacitación de los empleados.

En cuanto a los costos de evaluación, se encontraron los mismos rubros del estudio anterior, que corresponden a pruebas de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión y asegurar un valor mínimo de 60 lb/in² en las unidades, así como pruebas de revenimiento para el concreto que conforma los bloques.

Tabla 1. Resumen de los desembolsos en los apartados del modelo PAF

Estándares de COQ: BS6143 y ASQC	Desembolso incurrido 2022-202 (unidades monetarias, UM) ^a						
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
Prevención							
Mantenimiento de equipo de producción para aseguramiento de calidad	11505.55	6653.63	14927.20	10966.24	12292.86	9672.85	66018.83
Calibración	2123.58		1255.25	2656.27	1413.52	1884.74	9313.36
Entrenamiento y capacitación	563.24	325.28	199.21	662.33	289.14	429.30	2468.50
Total	14192.37	6978.91	16381.66	14264.84	13995.52	11986.89	77800.19
Evaluación (solo comprende pruebas)							
Resistencia	20134.71	19362.06	16270.43	22991.13	23897.36	17507.85	120163.54
Mezcla y revenimiento	17257.32	19325.41	15293.21	14526.32	17778.85	12768.16	96949.27
Total	37392.03	38687.47	31563.64	37517.45	41676.21	30276.01	217112.81
Total, costos voluntarios	51584.40	45666.38	47945.30	51782.29	55671.73	42262.90	294913.00
Falla							
Merma	9650.00	13252.10	14328.50	19420.32	21585.54	22365.15	100601.65
Total, involuntarios	9650.00	13252.10	14328.50	19420.32	21585.54	22365.15	100601.65
COQ total	61234.40	58918.48	62273.80	71202.61	77257.27	64628.05	395514.61

Fuente: Elaboración propia con datos de trabajo de campo y análisis de estados financieros.

^a Se trata de UM porque se aplicó una transformación a los datos originales por razones de confidencialidad.

Finalmente, en relación con los costos de falla del modelo PAF, el rubro principal se confirmó del estudio anterior, ya que, si bien las unidades cumplen cabalmente con las especificaciones, se consideran degradadas (merma) por aspectos cosméticos menores que en nada afectan su funcionalidad. Estas unidades se donan a instituciones de beneficencia o educativas. Para efectos de este trabajo, se consideran como desperdicio (*scrap*).

Los apartados del modelo PAF arrojaron como total UM\$395514.61, el cual se compone de un monto de UM\$294913.00 (74.56 %) de costos voluntarios (prevención y evaluación) y UM\$100601.61 (25.44 %). Estos porcentajes difieren de los encontrados en el estudio original, en el que los costos voluntarios representaban el 62.24 % del total de los apartados del modelo PAF y los involuntarios el 37.76 %.

Con el fin de examinar la relación que guardan los costos voluntarios y los involuntarios, se condujo un análisis de correlación (Rho de Spearman, ρ) que obtuvo un valor de 0.600, el cual no resultó significativo. Estos hallazgos contrastan con el estudio original en el que se observó una fuerte correlación negativa entre estos dos grupos de costos de calidad del modelo PAF ($\rho = -0.923$; $R^2 = 0.8562$) (Sandoval-Chávez, 1994).

Costos de oportunidad

La tabla 2 muestra los montos de los rubros de los IOC considerados y su relación con los apartados del modelo PAF. Como se reporta en el estudio de Sandoval-Chávez (1994), la subutilización de la capacidad instalada es por mucho el componente principal de los IOC (64.84 %) cuando se considera el COQ en términos de ingresos perdidos (figura 1). Le sigue en importancia los apartados voluntarios e involuntarios del modelo PAF (19.10 %) y con menos presencia el mal servicio de entrega (9.15 %) y el inadecuado manejo de materiales (6.91 %). En términos generales, los apartados del modelo PAF representan tan solo el 19.10 % del COQ total, mientras que los IOC el 80.90 %.

Por otra parte, en lo que se refiere al COQ expresado en utilidades no obtenidas, el rubro más importante lo constituye los apartados del modelo PAF con 46.99 % del total. En los componentes de los IOC destaca también la subutilización de la capacidad instalada, la cual se ubica en segundo lugar con 43.06 % del total, mientras que el mal servicio de entrega y el inadecuado manejo de materiales van a la zaga con 4.20 % y 5.75 %, respectivamente (figura 2). En términos generales, los apartados del modelo PAF representan un monto que llega al 46.99 % del COQ total, mientras que los IOC el restante 53.01 %.

Tabla 2. Monto de los rubros de los IOC considerados y su relación con apartados del PAF

Concepto y monto	Modelo PAF	Mal servicio de entrega	Subutilización de la capacidad instalada	Inadecuado manejo de materiales	Total
COQ en ingresos perdidos	395 514.61	189 357.11	1 342 320.48	143 096.29	2 070 298.50
% del total	19.10	9.15	64.84	6.91	100.00
Importancia	2	3	1	4	
COQ en utilidades no obtenidas	395 514.61	48 462.17	362 524.03	35 250.45	841 751.25
% del total	46.99	5.75	43.06	4.20	100.00
Importancia	1	3	2	4	

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Composición de los IOC en formato ingresos perdidos



Figura 2. Composición de los IOC en formato utilidades no obtenidas



Importancia estratégica del COQ

En el estudio original se dio cuenta de la importancia estratégica del COQ para la organización considerando el formato ingresos perdidos y utilizando cifras reales. Dado que en esta investigación confirmatoria se ha adoptado una transformación lineal de los datos monetarios por motivo de confidencialidad, únicamente se reportarán los porcentajes. En este sentido, se consideraron cuatro factores financieros: ventas reales, ventas potenciales, activo circulante y activos totales. El COQ en ingresos perdidos sumó la cantidad de UM\$2070298.50, lo que representa el 32.30 % de las ventas reales, el 22.26 % de las ventas potenciales, el 21.13 % del activo circulante y el 7.82 % del activo total.

DISCUSIÓN

El estudio original de Sandoval-Chávez (1994) fue el primero en mostrar que era posible lograr el 100 % de calidad de conformidad a costo finito. Este resultado prevalece en este segundo estudio, ya que todas las unidades siguen cumpliendo con las especificaciones.

En otro aspecto, inicialmente se descubrió una muy fuerte asociación negativa entre los costos de voluntarios (prevención + evaluación) y los costos involuntarios (falla); sin embargo, en este estudio de seguimiento no se mostró esta asociación, ya que el valor encontrado fue positivo, lo que iría en sentido contrario al primer hallazgo, pero no resultó significativo.

Por otra parte, en el primer estudio se encontró que los IOC eran los componentes principales del COQ, tanto en ingresos perdidos como en utilidades no obtenidas, con el 83.08 % y el 56.33 %, respectivamente. En este estudio de seguimiento estas cifras resultaron ser 80.90 % y 46.99 %, valores ligeramente inferiores a los hallados anteriormente. Ahora bien, en este nuevo estudio los rubros del modelo PAF tienen mayor preponderancia en el formato utilidades no obtenidas. En efecto, de ser los segundos en importancia como porcentaje del COQ total con 43.67 %, ahora son los primeros con 46.99%. Un factor que parece explicar esta diferencia es la incorporación del rubro relativo a educación para la calidad en el que antes no se invertía y que ahora aparece.

En términos de ingresos perdidos, las pérdidas relativas al mal servicio de entrega y el in-

adecuado manejo de materiales representaron en el primer estudio el 15.58 %, lo que es muy similar al 16.06 % que se encontró en el estudio de seguimiento. Ahora bien, expresadas como utilidades no obtenidas, las pérdidas representaban el 10.57 % del COQ en el primer estudio, ahora son el 9.95 %, sin que se aprecie una diferencia importante. En este respecto, causa extrañeza que, pasados casi 30 años desde el primer estudio, en la organización ABC no se hayan mejorado las técnicas de manejo de materiales, tanto en el proceso interno como al momento de la entrega.

En cuanto a la importancia estratégica del COQ para la organización, al igual que en el estudio inicial solo se consideraron las pérdidas expresadas como ingresos perdidos. Inicialmente el COQ representó el 46.64 % de las ventas reales y el 32.84 de las ventas potenciales; ahora, representa el 32.30 % y el 22.26 %, respectivamente, una notoria disminución en ambos casos. De la misma forma, el COQ representaba el 34.63 % del activo circulante y el 15.46 % del activo total. Estos resultados contrastan con lo que arrojó el estudio de seguimiento, con cifras de 21.13 % y 7.82 %, una reducción importante. Indagando al respecto, fue posible constatar que se han mejorado las prácticas de facturación y que la compañía cuenta con mejor liquidez. Asimismo, se modernizaron las dos plantas de vibroprensado, con una inversión intensiva de capital que ha mejorado la operación.

CONCLUSIONES

Se confirma que es posible lograr el 100 % de calidad de conformidad a costo finito. Este hallazgo está en línea con las nuevas demandas del mercado que exigen niveles muy altos de calidad para elevar la competitividad de las organizaciones. No fue posible confirmar la relación de asociación negativa entre los costos voluntarios y los costos involuntarios en el modelo PAF. En este estudio de seguimiento se encontró que se hace más inversión en prevención, aunque los rubros de falla no se ven disminuidos. No es claro entonces de qué manera el incremento en los rubros de prevención incide en la disminución de los costos por falla.

Este estudio confirma que el conjunto de los IOC es el principal componente del COQ. Es, por tanto, un hallazgo que refuerza la postura de la investigación inicial, pues el COQ tiene mucho más significado que los costos explícitos del modelo PAF. Sin embargo, cuando se desagregan los componentes de los IOC, el factor subutilización de la capacidad instalada es ligeramente rebasado por el modelo PAF. Es posible concluir, por ende, que el conjunto de componentes de los IOC, específicos en esta organización, juega un rol predominante en la conformación del COQ.

Por último, se confirma que el COQ tiene una marcada importancia estratégica para la organización ABC, ya que en este estudio de seguimiento, si bien las cifras no son tan altas como en el primero, aun así representan el 32.30 % de las ventas reales y el 22.26 % de las ventas a capacidad instalada, lo cual concuerda con la literatura (Psomas et al., 2022). En este mismo sentido, se reveló que la importancia del COQ se redujo si se aprecia como porcentaje del activo fijo y del activo total. Sin embargo, esta reducción puede atribuirse a mejores prácticas de facturación y cobranza y a que se adquirió equipo de vibroprensado moderno.

Limitaciones y agenda de investigación futura

La investigación, al igual que el estudio inicial, estuvo limitada a dos plantas, a un conjunto de modelos de bloques de concreto que es el que más volumen de ventas presenta y a un periodo de seis meses. Por eso, es recomendable extender el estudio a las tres plantas, considerar la línea completa de productos y extender el estudio a un periodo mayor, quizás los 12 meses que comprende el periodo fiscal.

Asimismo, como limitación, solo tres rubros explican los IOC, por lo que para futuras investigaciones es recomendable ampliar o desagregar estos rubros para identificar otros componentes de oportunidad que revelen estrategia rentables y alternativas de gestión para elevar el desempeño financiero de la organización.

REFERENCIAS

- Aguilar, F., Castañeda, T., Montañez, F. y Morales, A. (2023). *Radiografía socioeconómica del municipio de Juárez 2022, así comenzó el 2023*. Instituto Municipal de Investigación y Planeación. <https://www.imip.org.mx/descargas/RadiografiaSocioeconomica2022-2023.pdf>
- ASQC. (1961). *Quality costs - What and How?* Quality Costs Technical Committee.
- Benneyen, J. C. (1992). Examine cost of system quality via perfect process analysis. *Industrial Management*, 24(3), 13–16.
- BSI (1990). *BS6143: Part 2, Guide to the Economics of Quality: Prevention, Appraisal and Failure Model*. British Standards Institution.
- Carr, L. P. (1992). Applying Cost of Quality to a Service Business. *Sloan Management Review* (summer), 71–77. <https://sloanreview.mit.edu/article/applying-cost-of-quality-to-a-service-business/>
- Feigenbaum, A. (1956). Total quality control. *Harvard Business Review*, 34(6), 93–101.
- Juran, J. M. (1951). *Quality-control handbook*. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Juran, J. M. and Gryna, F. M. (1993). *Quality planning and Analysis* (3rd ed.). McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kau, L. and Nel, H. (2019). Cost of quality: A review and future research directions. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 10(3). <https://doi.org/10.4018/IJSESD.2019070103>
- Psomas, E., Dimitrantzou, C. and Vouzas, F. (2022). Practical implications of cost of quality: a systematic literature review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(8), 3581–3605. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2020-0524>
- Sandoval-Chávez, D. A. (1994). *A topological case study of the cost of quality in a continuous process manufacturing environment* (master of science thesis). The University of Texas at El Paso. <https://www.proquest.com/openview/3ae87f881f8a8f1615e461bdf1cb4f22/1?pq-origsite=gscholarycbl=18750ydiss=y>
- Sandoval-Chávez, D. A. and Beruvides, M. G. (1998). Using opportunity costs to determine the cost of quality: A case study in a continuous-process industry. *Engineering Economist*, 43(2), 107–124. <https://doi.org/10.1080/00137919808903192>
- Schiffauerova, A. and Thomson, V. (2006). A review of research on cost of quality models and best practices. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 23(6). <https://doi.org/10.1108/02656710610672470>
- Schneiderman, A. (1986). Optimum quality costs and zero defects: are they contradictory concepts? *Quality Progress*, (november), 28–31.
- Tatikonda, L. and Tatikonda, R. . (1996). Measuring and Reporting the Cost of Quality. *Production and Inventory Management Journal*, 37, 1–7. <https://www.proquest.com/openview/c877f2809a3a8e38c691e0f7983790a2/1?pq-origsite=gscholarycbl=36911>

Revisión sistemática de literatura sobre el uso del transporte público: experiencia, violencia y percepción del miedo a la victimización

Systematic review of literature on the use of public transport: experience, violence and perception of fear of victimization

Julio César Gómez Salazar

Instituto Tecnológico de México, IT de Ciudad Juárez, México

jgomez@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-4718-9368>

Diego Adiel Sandoval Chávez

Instituto Tecnológico de México, IT de Ciudad Juárez, México

dsandoval@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2536-1844>

Carlos Jesús González Macías

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

cgonzalez@uacj.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2278-8751>

RESUMEN

Esta investigación tiene como propósito analizar de forma sistemática la literatura científica sobre la percepción de seguridad y temor en el uso, así como la experiencia de los usuarios en el transporte público, desde el año 2012 al primer trimestre del año 2023, siguiendo la metodología PRISMA 2020. La búsqueda se realizó en diversas fuentes de información y motores de búsqueda, como Scopus, ScienceDirect, Scielo, Redalyc, Dimensions, Dialnet y Google Académico. La información recolectada corresponde al periodo 2012-2023, y se consideraron solo dos idiomas: español e inglés. Los términos que se tomaron en consideración fueron transporte público, violencia de género, violencia sexual, percepción del miedo al crimen, victimización, sistemas inteligentes y políticas públicas. Durante la búsqueda preliminar se reportaron 887 artículos científicos que se encontraban vinculados con el tema; posteriormente, se realizó la revisión de contenidos y la aplicación de los criterios de exclusión; al final, se seleccionaron 57 artículos que cumplieron con los criterios de elegibilidad. Las investigaciones realizadas corresponden a países como México, Australia, Etiopía, Perú, Colombia, Brasil, Argentina, Chile, Nigeria, India, Suecia, Finlandia, Sudáfrica, entre otros. En cuanto a las limitaciones de la revisión sistemática al momento de la búsqueda, se puede decir que no se consideraron los estudios redactados en otros idiomas. Finalmente, se llegó a la conclusión de que el uso del servicio y experiencia del transporte público supone una problemática que requiere ser abordada debido a que no es tomada en consideración como indicador que merece atención; además, la violencia en el transporte público hoy día es más prevalente y polifacética, lo que afecta gravemente la movilidad urbana de los usuarios, así como sus actividades personales y laborales.

Palabras clave: percepción del miedo, transporte público, violencia de género, acoso sexual, victimización.

ABSTRACT

The purpose of the research is to systematically analyze the scientific literature on the perception of safety and fear in use, as well as the experience of users in public transport, from 2012 to the first quarter of 2023, adopting PRISMA 2020 methodology. The search was conducted in various academic sources and search engines, such as Scopus, Sciencedirect, Scielo, Redalyc, Dimensions, Dialnet and Google Scholar. The information collected corresponds to the period 2012 – 2023. O two languages (Spanish and English) were considered. The key word that considered were, public transport, gender violence, sexual violence, perception of fear of crime, victimization, intelligent systems and public policies. During the preliminary search for articles, 887 scientific articles related to the topic were reported; subsequently, the contents were reviewed and the exclusion criteria were applied, then 57 articles were selected meeting the eligibility criterio: the study included countries such as: Mexico, Ecuador, Spain, Costa Rica, Peru, Colombia, Brazil, Argentina, Chile, Nigeria, India, Sweden, Finland, South Africa, among others. The limitations of the systematic review at the time of the search were that studies written in languages other than English were not considered. Finally, it was concluded that the use of public transport service and experience is a problem that needs to be addressed, since it is not taken into consideration as an indicator that deserves attention. Violence in public transport is nowadays more prevalent and multifaceted, seriously affecting the urban mobility of users, as well as their personal and work activities.

Keywords: Perception of fear, public transport, gender violence, sexual harassment, victimization.

INTRODUCCIÓN

Durante varios años, la seguridad de la ciudadanía ha sido un tema de gran interés a nivel internacional, nacional y local, pues constituye una de las prioridades de la agenda 2030. En este sentido, es fundamental proteger el desplazamiento y la accesibilidad del transporte público urbano en todos sus niveles (UN-Habitat, 2019). Sin embargo, cabe destacar que, a pesar de la amplia prevalencia de la inseguridad en diversos ámbitos, la violencia en el transporte público ha sido un problema social poco estudiado que afecta de manera drástica a la población en general (Loukaitou-Sideris, 2020; Ahmed *et al.*, 2021).

En la década de 1960 en EE. UU. se pueden encontrar registros sistemáticos sobre la experiencia de los usuarios (mujeres) en la movilidad, puntualmente en el transporte público y el uso del tiempo (Law, 1999). Para las siguientes décadas (1980 y 1990), la investigación y el feminismo se amalgamaron para erigir una base sólida de conocimientos y marcos teóricos disponibles para comprender la violencia sexual y de género (Kelly *et al.*, 2012). Al respecto, es importante resaltar que la *violencia sexual o agresión sexual y acoso sexual* son expresiones que se utilizarán en este trabajo para distinguir dos tipos de delitos sexuales que difieren en su nivel de gravedad. En concreto, el acoso sexual se define como “cualquier atención no deseada, incluidos comentarios lascivos, miradas lascivas, invitaciones sexuales, amenazas, exhibición de material pornográfico, ser seguido o fotografiado y masturbación pública”, mientras que la agresión sexual se refiere a “cuando alguien es amenazado, coaccionado, o forzado a actos sexuales no consentidos” (Gekoski *et al.*, 2017, p. 4).

El transporte público es un sistema integral utilizado para dar solución al desplazamiento de las personas desde un punto de origen a un destino final (Hernández, 2012). Hoy día representa el medio de transporte mayormente empleado por la población en las ciudades

modernas para el desarrollo de las actividades cotidianas debido a que facilita la movilidad. Además, es uno de los lugares públicos donde las interacciones sociales se consolidan por la diversidad cultural y social de sus usuarios (Kager *et al.*, 2016). No obstante, también se ha convertido en el lugar público donde más inseguro y con temor se sienten los usuarios de ser víctimas o llegar a ser victimizados por personas que hacen un mal uso de este (Ceccato y Loukaitou-Sideris, 2022; Kamau y Wright, 2022; Pedersen, 2020; Pereyra *et al.*, 2018; Romero-Torres y Ceccato, 2020; Soto *et al.*, 2022).

En la actualidad, la violencia de género y la percepción del miedo a ser victimizado en el transporte público es un problema generalizado en México y a nivel global, y es más latente en las mujeres, jóvenes, niños, niñas, minorías de género y grupos vulnerables que en los hombres (Briggs y Martin, 2016; Ceccato *et al.*, 2021; Korn, 2018; Lubitow *et al.*, 2017; Mazumder y Pokharel, 2018; Naupane y Chesney-Lind, 2014; Niboye, 2023; Otu y Agugua, 2020; Pereyra *et al.*, 2018; Quinones, 2020; Rodas-Zuleta *et al.*, 2022; Romero-Torres y Ceccato, 2020).

La violencia en el transporte público suele presentarse en forma de acoso sexual y agresión sexual, y es realizada principalmente por extraños (específicamente el género masculino) (ONU Mujeres, 2018), lo cual está respaldado por las estadísticas y los resultados de la revisión de literatura (Avalos y Hernández, 2020; Infante-Vargas y Boyer, 2022; Kamau y Wright, 2022; Korn, 2018; Mazumder y Pokharel, 2018; Romero-Torres y Ceccato, 2020).

Estas agresiones y violencia van desde la agresión sexual, comportamientos inapropiados y repulsivos, agresiones físicas, y gestos verbales y no verbales que suceden en cualquier recorrido y momento del día, y la violencia ocurre independientemente de la edad, género, raza o clase social (Cardoso *et al.*, 2021; Ceccato *et al.*, 2021; Infante-Vargas y Boyer, 2022; Niboye, 2023; Owiti, 2021).

Mazumder y Pokharel (2018) muestran evidencias de que el 84 % de las mujeres han sido victimizadas en el transporte público. Las agresiones fueron miradas fijas, tocamiento deliberado, manoseo, comentarios sexuales y violaciones en grupo. Por otro lado, Owiti (2021) encontró que las mujeres al usar el transporte público sufren de comentarios verbales agresivos y miradas lascivas. De acuerdo con Infantes y Boyer (2022), los perjuicios ocasionados en las usuarias van desde manoseos con intenciones sexuales, nalgadas, insultos y en ocasiones violencia forzada para tener actos sexuales. Asimismo, Briggs y Martin (2016) y Gekoski *et al.* (2017) concluyeron que las agresiones varían en severidad, exposiciones indecentes, grabaciones, fotografías inapropiadas, contactos forzosos e incluso violaciones. Además, se encontró que la minoría de género también sufren de acoso sexual en menor recurrencia. Esto ocurre al no existir políticas de discriminación y protección de seguridad para estos grupos en el uso del transporte público (Lubitow *et al.*, 2017; Lubitow *et al.*, 2020; Romero-Torres y Ceccato, 2020).

Este fenómeno de violencia de género en el transporte público se percibe en variadas formas y grados, según los contextos socioculturales y la educación de las comunidades (Anand y Nanda, 2022; Batra, 2020; Chowdhury, 2021; Le-Klahn *et al.*, 2014; Niboye, 2023; Pedersen, 2020). Algunas de las preocupaciones particulares de las mujeres que viajan en tránsito son los delitos de naturaleza sexual que ocurren en todo el mundo en el transporte público (autobuses), en las paradas o nodos de estos, así como en el trayecto hacia y desde la parada de tránsito (Cardoso *et al.*, 2021; Rodas-Zuleta *et al.*, 2022). Para muchos, es una conclusión deprimente, pero inevitable: si eres una mujer que viaja en transporte público, es casi seguro que experimentarás los tipos de encuentros degradantes o amenazantes que encajan per-

fectamente dentro de los límites de la conversación #MeToo” (Powers, 2017).

La violencia que ocurre en el transporte público puede ser generada por factores como tiempos prolongados de recorridos, servicio insuficiente, hacinamiento, falta de disponibilidad de horarios, falta de políticas públicas, ineficiencia del servicio, escaso acceso al sistema de transporte, falta de denuncias por violencia, falta de seguridad pública, uso recurrente del transporte, zona geográfica, nodos de abordaje y características físicas y sociales de los entornos de tránsito (Batra, 2020; Busco *et al.*, 2023; Ceccato *et al.*, 2021; Galiani y Jaitman, 2016; Gardner *et al.*, 2017; Gerell, 2018; Kacharo *et al.*, 2022; Kopelman, 2018; Limas y Ampudia, 2022; Madan y Nalla, 2016; Naupane y Chesney-Lind, 2014; Otu y Agugua, 2020; Soto *et al.*, 2022).

Asimismo, Obure (2017) determinó algunos factores que influyen en la violencia contra las usuarias del transporte público, como son la vestimenta provocativa, el congestionamiento del transporte, el sentarse de forma al azar y la música que se escucha. Ante las amenazas de violencia de género, las féminas han desarrollado mecanismos de defensa que les han permitido evadir y seguir exponiéndose a la violencia en el transporte público, al hacer cambios de patrones de viaje, comportamiento y frecuencia de viajes, uso de auto particular, y en ocasiones más extremas abandonar sus actividades laborales y cotidianas (King y King, 2022; Moreira y Ceccato, 2021; Simsekoglu *et ál.*, 2015).

El acoso público contra los usuarios es una forma de agresión que genera traumas, así como un deterioro conductual, físico y sociopsicológico, lo cual hace que pierdan la confianza en la sociedad al exponer el impacto psicológico (Fileborn, 2019; Meinck *et al.*, 2015). En este sentido, la percepción del miedo al crimen y la violencia en el transporte público limitan a la diversidad de género, su movilidad y accesibilidad a una ciudad segura. En el ámbito de la movilidad y accesibilidad, existe la expectativa de contar con un transporte que responda en forma general a su condición de servicio público. El traslado puede ser por motivos laborales, estudio, acceso a servicios o simplemente esparcimiento e interacción social o cultural. Es obligación de cada gobierno procurar que los servicios de transporte público ofrezcan precios accesibles, en tiempos adecuados, con regularidad, estándares de calidad, conexiones y circuitos expeditos y seguros. Además, es responsabilidad del Estado prever que las personas que usen los medios de transporte público, así como esa infraestructura no expongan su integridad física o emocional.

Explicado lo anterior, el propósito de este capítulo de investigación fue conocer las experiencias de violencia que se presentan en el transporte público, así como los estudios realizados, el género más perjudicado, los elementos que determinan la violencia o agresión hacia los usuarios y las áreas de oportunidad que se puedan emprender para tener ciudades más seguras para todos. Todo esto se puede lograr mediante la revisión de literatura sistemática, además del uso del *software* VOSviewer, utilizado para la administración y organización del extenso material que se puede recolectar de los años estudiados para este artículo. La revisión de literatura se realizó con el objetivo de compilar y sistematizar el conocimiento académico y científico sobre el tema para responder a las siguientes interrogantes:

- a) ¿Cuáles son los tipos de agresiones y violencia que más se presenta en el uso del transporte público, percibido en la literatura internacional?
- b) ¿Cuál es el género más agredido o acosado en el uso del transporte público según la revisión de la literatura internacional?
- c) ¿Los factores ambientales se encuentran relacionados con la agresión y violencia en

el transporte público?

En la siguiente sección se dará cuenta de los materiales y métodos utilizados para llevar a cabo la revisión de literatura sistemática. Posteriormente, se continuará con los resultados y finalmente se agregarán las secciones de discusión, conclusiones, contribución para futuras investigaciones, así como las referencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en el artículo fue explicativa y longitudinal. Consistió en una revisión de literatura y una selección de estudios previos sobre el transporte público, la violencia y percepción de miedo a ser víctima en ese espacio. La revisión se realizó en dos fases: la primera fue totalmente exploratoria, es decir, se efectuó una búsqueda general de transporte público, experiencia y violencia que se presenta en este. En la segunda fase se tomaron como base criterios de investigación específicos relacionados con el tema del artículo. En la primera fase no se pusieron límites geográficos ni temporales a los recursos encontrados, sino que se consideró únicamente la relevancia del tema. En cambio, en la segunda fase se limitó la investigación a artículos relacionados con el tema de la experiencia, violencia de género, acoso sexual, agresión sexual y percepción del miedo al crimen en el transporte público; además, se restringió el área del estudio a dos idiomas (español e inglés).

La búsqueda bibliográfica mostró que la literatura contiene numerosos casos sobre la violencia de género y percepción del miedo a ser victimizado en el transporte público, así como el efecto que este genera en los usuarios. Los artículos considerados se enfocaban principalmente en el análisis meticuloso de la experiencia, violencia de género (acoso y agresión) y percepción de miedo que se presenta en el uso del transporte público. Además, algunas publicaciones consideran cómo la violencia afecta el bienestar personal de forma externa, y se encontraron algunos casos que analizan cómo afrontarlo y cómo diseñar adecuadamente el transporte público.

Para la recolección de la información se emplearon los siguientes motores de búsqueda: Scopus, ScienceDirect, Scielo, Redalyc, Dimensions, Dialnet y Google Académico. Los artículos estaban escritos en inglés y español desde el año 2012 hasta el primer trimestre del año 2023, todos orientados a la violencia que se presenta en el transporte público. Asimismo, se empleó el diseño y enfoque de informes sugerido por PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas (Page *et al.*, 2021).

A fin de realizar la investigación sobre el tema, se utilizaron los cuadros de búsqueda por título, resumen y palabras claves en cada base de datos. Las siguientes palabras clave se utilizaron junto con los operadores booleanos para reducir el tamaño de búsqueda y simplificar la selección recolectada. Las palabras claves fueron transporte público y violencia (*public transport violence*), violencia de género (*gender of violence*), y acoso sexual (*sexual violence*). Esta estructura se utilizó en Google Académico, una de las bases de datos más importantes.

Por otro lado, los operadores booleanos que se emplearon en la base de datos de Dimension fueron ((public transportation) AND (violence gender) AND (transporte público) AND (violencia sexual) OR (percepción del miedo)) y Dialnet: ((transporte público) AND (violencia de género)).

En la tabla 1 se muestra el conjunto de palabras claves, operadores booleanos y combinación de términos que se utilizaron en los motores de búsqueda. Asimismo, el número de resultados y la magnitud de los documentos seleccionados para simplificar el volumen de la información y para realizar una búsqueda más exhaustiva de publicaciones académicas con respecto al tema investigado.

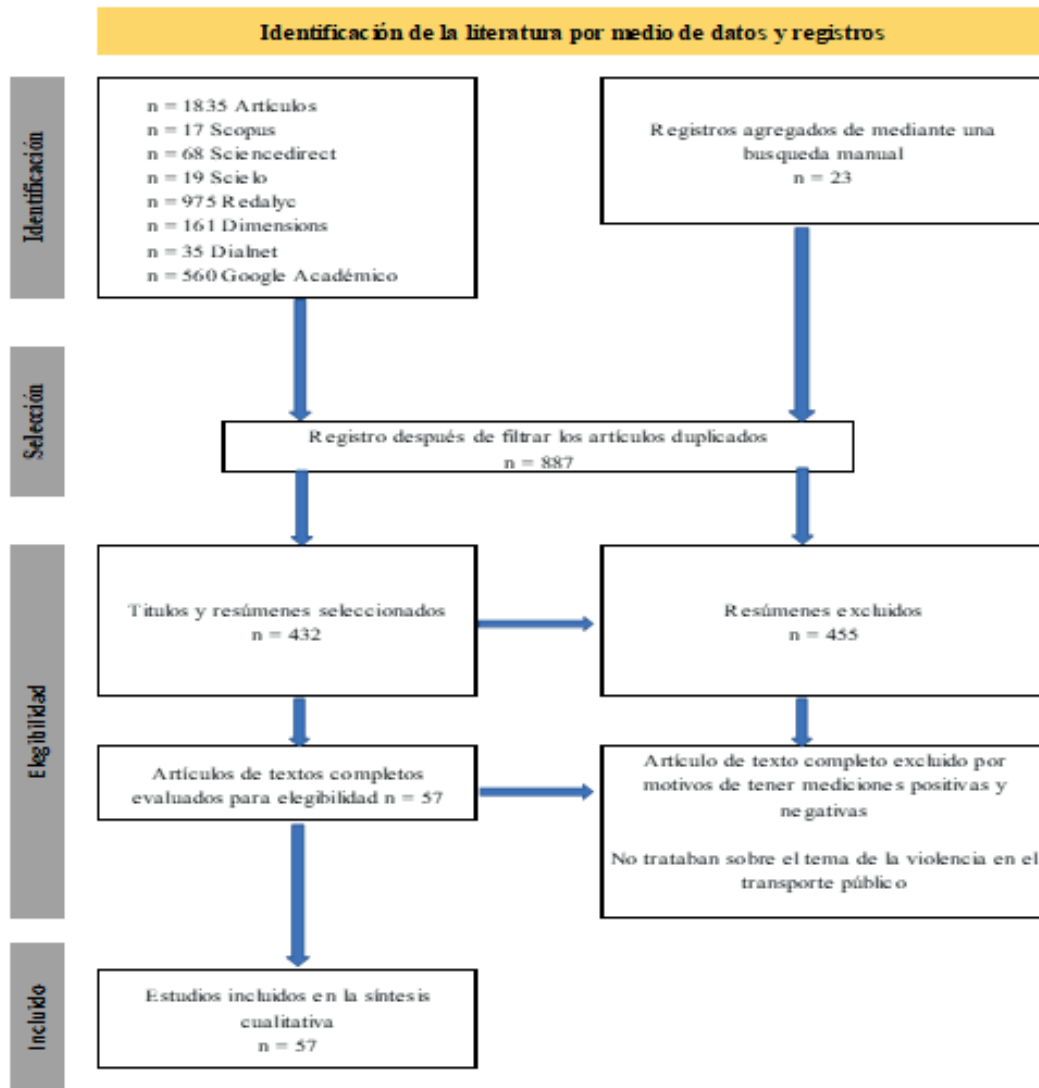
Tabla 1. Motores y términos de búsqueda

Base de datos	Términos de búsqueda	Resultados obtenidos
Dimensions	((public transportation) + (violence gender) + (transporte público) + (violencia sexual) OR (percepción del miedo))	161
Sciencedirect	((violence on public transport BRT) AND (gender of violence) OR (sexual violence))	38
Scopus	((violence on public transport BRT) AND (gender of violence) OR (victimization) OR (perception of fear))	17
Dialnet	((transporte público) AND (violencia de género))	35
Redalyc	((transporte público BRT y la violencia de género a usuarios BRT) + (acoso sexual en usuarios BRT y percepción de miedo a la violencia de los usuarios BRT) + (agresión sexual a usuarios BRT y victimización de los usuarios en BRT))	1023
Scielo	(transporte público BRT) OR (acoso sexual BRT)	10
Google academic	((transporte público violencia) AND (public transport violence) OR (violencia de género) OR (gender of violence) AND (acoso sexual) OR (sexual violence))	980

Fuente: Elaboración propia

La selección y búsqueda de la información se inspiró en el principio del *Manual de Cochrane para una revisión sistemática* y en la lista de verificación PRISMA 2020 (Higgins y Green, 2011; Page et al., 2021) (figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo basado en PRISMA 2020



Fuente: Elaboración propia

La revisión sistemática de literatura permitió condensar los resultados de un acervo de estudios. De esa forma se consiguió una descripción a manera de síntesis cualitativa de la información encontrada con el objetivo de responder las preguntas de investigación. Los criterios de selección y elegibilidad fueron a) estudios con tema central violencia en el transporte público y violencia de género en BRT, b) publicaciones en español e inglés entre 2012 y el primer trimestre de 2023, c) artículos completos que en sus apartados (título, resumen, introducción, objetivos, resultados o discusión) mencionaran la violencia en el transporte público, violencia de género y acoso sexual en el BRT, d) estudios con muestras, e) factores de riesgos (violencia física, verbal y no verbal).

Además, se utilizaron los siguientes criterios de exclusión: a) investigaciones que no correspondían al tema de interés, b) artículos duplicados en las diferentes bases de datos, c) contexto que no correspondía al transporte público, d) carácter no empírico y resultados preliminares. De esta forma, se concretó el diagrama de flujo PRISMA 2020 de la figura 1.

Finalmente, se concluyó con el análisis bibliométrico, que incluyó los artículos obtenidos y seleccionados de las bases de datos (en *.ris) durante el proceso de recolección. Se utilizó

Tabla 2. Caracterización de los ítems incluidos en la revisión sistemática de la literatura

#	Autor	Lugar e idioma	Tipo estudio	Tamaño muestra	Método de medición	Prevalencia	Factor de riesgo
1	Quinones (2020)	Colombia Español	Transversal	1338	Entrevista Semiestructurada	84.3 % experimentado acoso	Violencia física
2	Naupane y Chesney-Lind (2014)	Nepal Inglés	Transversal	238	Mixto (encuestas, entrevistas: individuales, en parejas y grupos focales)	97 % experimentaron acoso sexual	Violencia física, verbal y no verbal
3	Mazunder y Pokharel (2018)	Bangladesh Inglés	Transversal	-	Entrevista	84 % experimentaron acoso sexual	Violencia verbal y no verbal
4	Ceccato y Loukaitou-Sideris (2021)	Varios países: Canadá, USA, México, Brasil, Colombia, Suecia, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia, Japón, China, Filipinas, Nigeria y Australia Inglés	Transversal	13323	Encuesta de 45 preguntas	El rango de acoso fue del 14 %, hasta un 92 %	Violencia física, verbal y no verbal
5	Ceccato <i>et al.</i> , (2021)	Suecia Inglés	Transversal	300	Encuesta	61.6 % experimentaron acoso sexual	Violencia verbal, física y no verbal
6	Korn (2018)	Chile Inglés	Transversal	407	Encuesta	72 % víctima de violencia sexual	Violencia física, verbal y no verbal
	Autor	Lugar e idioma	Tipo Estudio	Tamaño Muestra	Método de Medición	Prevalencia	Factor de Riesgo
7	Lubitow <i>et al.</i> (2017)	USA Inglés	Transversal	25	Entrevista	20 % experimentaron agresión física	Violencia física y verbal,

						discriminación	
8	Pereyra <i>et al.</i> (2018)	Argentina Español	Transversal	816	Encuestas, grupos focales y entrevistas	72 % acoso sexual	Violencia física y verbal
9	Owiti (2021)	Kenia Inglés	Transversal	90	Encuestas	63 % de los encuestados experimentaron violencia de género	Violencia verbal y no verbal
10	Cardoso <i>et al.</i> (2021)	Brasil Inglés	Transversal	21	Lógica difusa	67 % de vulnerabilidad a la violencia	Seguridad pública
11	Pedersen (2020)	-	Transversal	-	Encuestas	30 %, no hay denuncia cuando las usuarias son violentadas	Violencia por el patriarcado (estructural y relacional)
12	Şimşekoğlu <i>et al.</i> (2015)	Noruega Inglés	Transversal	1039	Encuesta de auto-completado	15 % hacen uso del transporte	Seguridad en el transporte
13	Lubitow <i>et al.</i> (2020)	USA Inglés	Transversal	25	Entrevista	88 % experimentó acoso, discriminación y violencia	Violencia física, verbal y discriminación
14	Chowdhury (2021)	Japón Inglés	Transversal	32	Entrevista en profundidad	83 % experimentaron violencia sexual	Agresión sexual
15	Kamau y Wright (2022)	Kenia Inglés	Transversal	-	Encuestas y estudios anteriores	73 % experimentaron acoso de género	Violencia verbal, física y no verbal
16	Ison y Matthewson (2023)	-	Transversal	-	Encuestas y estudios anteriores	61.8 % experimentaron acoso de género	Violencia verbal, física y no verbal
17	Gerell (2018)	Suecia Inglés	Transversal	586	Observación social sistemática	63 % sufrió violencia de diferente característica	Violencia de forma general
18	Batra (2020)	India Inglés	Transversal	-	Casos de estudio y encuestas	Ha experimentado violencia sexual	Agresión sexual
19	Madan y Nalla (2016)	India Inglés	Transversal	1387	Entrevistas y encuestas	55% ha experimentado violencia sexual	Acoso sexual y victimización
20	Kacharo <i>et al.</i> 2022	Etiopía Inglés	Transversal	199	Encuestas y grupo focales	50.8 % experimentaron violencia	Violencia verbal, física, no verbal y psicológica
	Autor	Lugar e idioma	Tipo Estudio	Tamaño Muestra	Método de Medición	Prevalencia	Factor de Riesgo

21	Gardner <i>et al.</i> (2017)	Australia Inglés	Transversal	1426	Encuestas	87 % experimentó hostigamiento sexual	Violencia verbal, física y no verbal
22	Obure (2017)	Kenia Inglés	Transversal	222	Entrevistas, cuestionarios y análisis de documentos	32.7 % ha experimentado violencia de género	Violencia de género
23	King y King (2022)	Bangladesh Inglés	Transversal	200	Encuestas de entrevistas	49 % ha experimentado violencia de género, acoso y delincuencia	Violencia de género
24	Ceccato y Loukaitou- Sideris (2022)	18 ciudades	Transversal	13323	Encuesta de 45 preguntas	El rango de acoso fue del 14 %, hasta 92 %	Movilidad y comportamie nto
25	Romero-Torres y Ceccato (2020)	México Inglés	Transversal	381	Encuesta	90.1 % ha experimentado violencia sexual	Victimizació n sexual
26	Otu y Agugua (2020)	Nigeria Inglés	Transversal	314	Encuesta	46.3 % han experimentado violencia de género	Violencia no verbal
27	Rodas-Zuleta <i>et al.</i> (2022)	Colombia Inglés	Transversal	442	Encuesta auto informada	32.2 % experimentó acoso y agresión sexual	Violencia de género
28	Niboye (2023)	Tanzania Inglés	Transversal	55	Entrevistas en profundidad y cuestionario	78 % experimentó violencia y agresión sexual	Violencia verbal, física y no verbal
29	Busco <i>et al.</i> (2023)	Chile Inglés	Transversal	512	Grupos focales y encuesta	50 % experimentó violencia y agresión sexual	Violencia verbal, física y no verbal
30	Soto <i>et al.</i> (2022)	Colombia Inglés	Transversal	500	Encuesta cara a cara	44.5 % ha sufrido acoso sexual	Violencia verbal, física y no verbal
31	Infante-Vargas y Boyer (2022)	México Inglés	Transversal	611	Encuesta y entrevista	52.21 % ha experimentado violencia	Violencia verbal, física y no verbal
32	Dunckel- Graglia (2014)	México Inglés	Transversal	125	Encuestas	43.8 % sufrieron violencia sexual	Violencia verbal, física y no verbal
33	Sweetman y Dunckel- Graglia (2013)	México Inglés	Transversal	-	Entrevista y cuestionario	-	Violencia verbal, física y no verbal
34	Briggs y Martin (2016)	USA Inglés	Transversal	-	Entrevista estructurada	60% ha experimentado violencia de género	Violencia verbal, física y no verbal
35	Moreira y Ceccato (2021)	Brasil Inglés	Transversal	2524	Encuesta	-	Violencia física y sexual
	Autor	Lugar e idioma	Tipo de Estudio	Tamaño Muestra	Método de Medición	Prevalencia	Factor de Riesgo

36	Reyes (2022)	México Español	Transversal	73	Cuestionario semiestructurado	95 % experimentó acoso sexual	Violencia sexual y asaltos
37	Salonen (2018)	Finlandia Inglés	Transversal	197	Entrevista e informantes	64 % Percepción de la seguridad es mala	Seguridad del pasajero
38	Limas y Ampudia (2022)	México Español	Transversal	200	Cuestionario	-	Inseguridad y percepción del miedo
39	Anand y Nanda (2022)	India Inglés	Transversal	-	Entrevistas y grupo focales	Acoso y violencia diario	Violencia verbal, física y no verbal
40	Kopelman (2018)	México Inglés	Transversal	42	Entrevistas, encuestas e investigación de archivos	36 % experimentó violencia física y sexual	Violencia de género
41	Le-Klähn <i>et al.</i> (2014)	Alemania Inglés	Transversal	500	Encuesta	-	Uso continuo
42	Shibata (2020)	Japón Inglés	Transversal	400	Encuesta	65 % a 85 % experimentaron acoso sexual	Violencia verbal, física y no verbal
43	Gekoski <i>et al.</i> (2017)	Varios países, ya mencionados anteriormente	Transversal	-	Investigación de documento y artículos	15 % a 95 % experimentaron violencia de género	Violencia verbal, física y no verbal
44	Rognes (2017)	Canadá Inglés	Transversal	-	Encuestas y revisión de literatura	58 % se sienten inseguros	Violencia verbal, física y no verbal
45	Lea <i>et al.</i> (2017)	India Inglés	Transversal	137	Encuestas	95 % no se sienten seguros	Violencia verbal, física y no verbal
46	Kash (2019)	Colombia y Bolivia Inglés	Transversal		Encuestas y entrevistas	35% experimentó acoso y agresión sexual	Violencia verbal, física y no verbal
47	Shakibaei y Vorobjovas (2022)	Turquía Inglés	Transversal	49	Entrevistas	100 % experimentó al menos un caso de violencia de género	Violencia verbal, física, no verbal y discriminación
48	Huang y Wang (2020)	China Inglés	Transversal	475	Encuestas	38 % experimentaron violencia sexual	Violencia verbal, física y no verbal
49	Ceccato <i>et al.</i> (2023)	Suecia Inglés	Transversal	1122	Encuesta	45 % ha experimentado violencia sexual	Violencia verbal y física
	Autor	Lugar e idioma	Tipo de Estudio	Tamaño Muestra	Método de Medición	Prevalencia	Factor de Riesgo

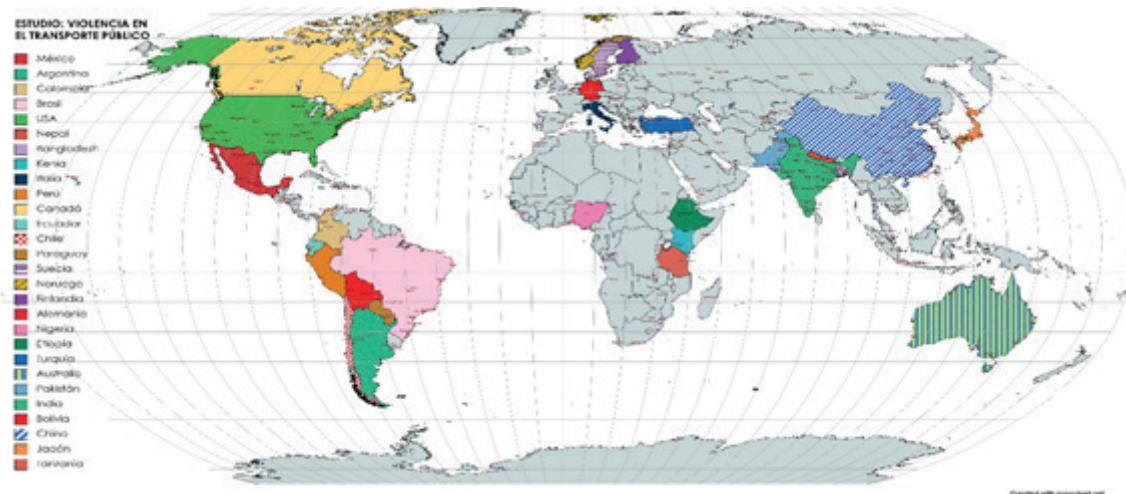
50	Natarajan (2017)	USA Inglés	Transversal	140	Encuesta	77 % ha experimentado violencia sexual	Violencia verbal, física y no verbal
51	Wagle <i>et al.</i> (2022)	Nepal Inglés	Transversal	196	Cuestionario estructurado	82.1 % experimentaron acoso sexual	Violencia verbal, física y no verbal
52	León <i>et al.</i> (2023)	Colombia Español	Transversal	285	Encuesta	87 % Ha experimentado delito sexual	Delitos sexuales, lesiones personales y homicidio
53	Adeel <i>et al.</i> (2016)	Pakistán Inglés	Transversal	19600	Encuesta	Menos posibilidad de movilidad	Falta de movilidad
54	Galiani y Jaitman (2016)	Paraguay Perú Español	Transversal	1200	Encuesta	24 % y 78 % han experimentado violencia	Violencia verbal, física y no verbal
55	Zamudio- Sánchez <i>et al.</i> (2017)	México Español	Trasversal	207	Encuesta	60.59 % han experimentado violencia	Violencia verbal, física y no verbal
56	Avalos y Hernández (2020)	Perú Español	Transversal	-	Encuesta	32.80 % se siente insegura y ha sufrido de acoso sexual	Violencia verbal, física y no verbal
57	Cardozo (2021)	Ecuador Español	Trasversal	381	Encuestas y entrevistas	56 % y 68 % han sufrido acoso y robo	Violencia verbal, física y no verbal

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se muestran los artículos encontrados por países y la ubicación donde se llevaron a cabo los estudios sobre la violencia en el transporte público y violencia de género: India (n = 4), México (n = 8), USA (n = 3), Nepal (n = 2), Suecia (n = 3), Brasil (n = 2), Colombia (n = 5), China (n = 1), Chile (n = 2), Kenia (n = 3), Noruega (n = 1), Argentina (n = 1), Ecuador (n = 1), Perú (n = 2), Paraguay (n = 1), Pakistán (n = 1), Turquía (n = 1), Bolivia (n = 1), Japón (n = 2), Alemania (n = 1), Finlandia (n = 1), Canadá (n = 1), Tanzania (n = 1), Nigeria (n = 1), Bangladesh (n = 2), Italia (n = 3), Australia (n = 1) y Etiopía (n = 1). En la figura 3 se muestra un mapa mundial y los países que han realizado investigaciones sobre el tema de la violencia en el transporte público y de género.

Esto es una evidencia más de cómo la prevalencia de la violencia en el transporte público es una problemática a nivel internacional debido a que no solo se trata de un caso aislado (calle, pueblo, ciudad, estado o país), sino que es un asunto que permea a nivel global, como se puede ver en el mapamundi de la figura 3. Los países con diferentes tonos de colores son casos verificables de estudios sobre la violencia mencionada.

Figura 3. Ubicación geográfica de los países que han desarrollado investigación sobre la violencia en el transporte público y violencia de género



Fuente: Elaboración propia (<https://www.mapchart.net/world-advanced.html>)

Por otra parte, en la literatura revisada se ha constatado que la problemática de la violencia o el acoso de género se manifiesta a través de tres modalidades recurrentes: la expresión no verbal, la verbal y la física (tabla 3). Así lo señalan 85 % de las personas participantes en las encuestas y en entrevistas de distintos casos de estudio contemplados en el marco de esta investigación.

Paralelamente, se pudo determinar que una minoría de individuos de género enfrenta agresiones y violencia de índole sexual en una proporción más limitada (8%), en contraste con otros géneros. En consonancia con esta línea de análisis, dentro del repertorio de agresiones que el género enfrenta al utilizar el transporte público, se incluyen los incidentes de asalto y las confrontaciones con otros usuarios, tendencia que se manifiesta con mayor incidencia al culminar sus respectivos desplazamientos (Moreira y Ceccato, 2021). Asimismo, se evidenció que una porción minoritaria del género experimenta actos de violencia en el ámbito del transporte público a través de agresiones físicas, verbales y no verbales (Ceccato *et al.*, 2021); a su vez, están sujetos a la discriminación derivada de su orientación sexual (Lubitow *et al.*, 2017).

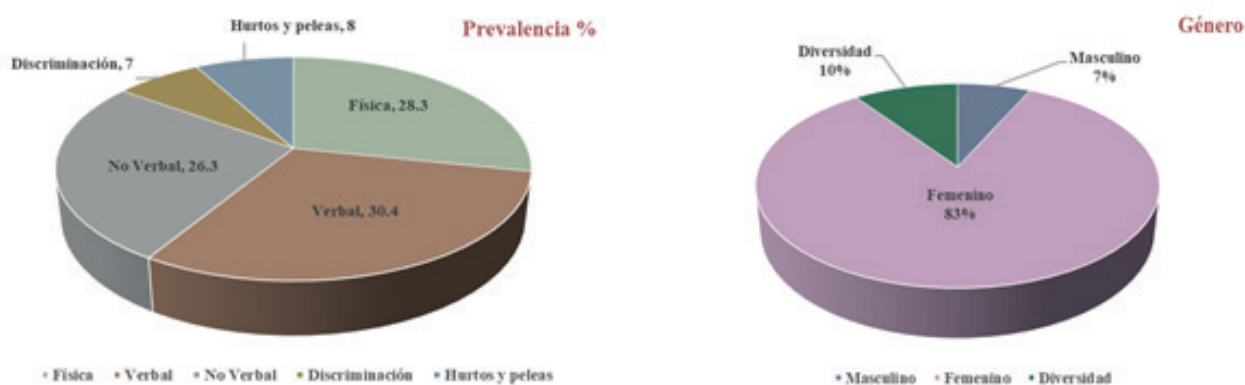
Tabla 3. Agresiones y acoso sexual más prevalente en el transporte público hacia género femenino

No verbal	Verbal	Física
✓ Miradas lascivas	✓ Lenguaje soez e inicuo	✓ Toqueteo o manoseo sin consentimiento
✓ Gestos sexuales no deseados	✓ Comentarios sexuales por (indumentaria y cuerpo)	✓ Tocar el cabello, ropa o joyería
✓ Exposición de imágenes pornográficas	✓ Preguntas directas sobre su vida y actividad sexual	✓ Besos no deseados por un extraño
✓ Exhibicionismo	✓ Silbidos y piropos de carácter sexual	✓ Agresión sexual
✓ Acecho	✓ Solicitar sexo a un extraño	✓ Violación

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 —en el apartado a— muestra los diferentes tipos de agresiones y violencia a la que son expuestos los usuarios del transporte público, así como el porcentaje y la prevalencia en los artículos analizados. El apartado b) expresa los géneros que utilizan el transporte público y el porcentaje de agresión por género al usar el transporte público.

Figura 4. Agresiones y violencia que sufren los usuarios del transporte público



a) Prevalencia de agresiones que sufren los usuarios b) Porcentaje de agresiones por género

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 demuestra la preeminencia de la agresión y violencia en el contexto del uso del transporte público. Se constata que la forma de violencia verbal es la más predominante, con el 30.4 %, seguida por la violencia física con el 28.3 %, y finalmente la violencia no verbal con el 26.3 %. En conjunto, estas categorías de agresiones representan el 85 % de las manifestaciones de violencia que acontecen en el ámbito del transporte público.

Paralelamente, se pudo constatar que el género femenino es el más afectado por las formas de violencia en el contexto del transporte público, con el 83 % de los casos; en segundo lugar, la diversidad de género con el 10%, mientras que el género masculino reporta el 7%. Adicionalmente, se efectuó un análisis que condujo a la conclusión de que la inseguridad en

el transporte público se manifiesta a través de cuatro facetas distintas, tal como se detalla en la figura 5.

Figura 5. Facetas en los que se presenta la inseguridad en el uso del transporte público



Fuente: Elaboración propia

Además, se constató que la violencia en el transporte público se ve afectada por factores ambientales externos. Por ejemplo, emergen como determinantes la carencia o insuficiente iluminación en los puntos de abordaje (Gerell, 2018) y en las rutas de acceso y desembarque de los medios de transporte público, así como la falta de iluminación en los trayectos que recorren las distintas unidades de transporte para llevar a los pasajeros a sus destinos respectivos. Por otro lado, la escasa seguridad o vigilancia insuficiente, así como la falta de control por parte de las autoridades facilitan la recurrencia de actos de violencia y agresiones en el entorno del transporte público. Del mismo modo, la ausencia de mantenimiento en la infraestructura de los distintos puntos de abordaje, en las unidades de transporte, en la calidad del servicio y en el estado de las vías de circulación contribuyen a que la violencia y las agresiones se conviertan en una constante en el ámbito del transporte público para todos los usuarios, independientemente de su género, nivel educativo, situación económica, edad, trasfondo cultural o estado civil (Adeel *et al.*, 2016; Ceccato *et al.*, 2021; Galiani y Jaitman, 2016; Huang y Wang, 2020; Ison y Matthewson, 2023; Mazumder y Pokharel, 2018; Shakibaei y Vorobjovas, 2022).

Todos estos factores externos terminan por restringir y limitar la movilidad, en especial de las mujeres y de la minoría de género (Ceccato *et al.*, 2023; Dunckel-Graglia, 2014; Natarajan, 2017; Sweetman y Dunckel-Graglia, 2013), quienes son los más vulnerables ante la violencia. Las mujeres indican que, para eludir ser víctimas de tal violencia en el transporte público, ajustan sus rutas, modos de transporte y horarios de viaje. Sin embargo, este cambio de rutas u horarios puede resultar en una utilización ineficaz de su tiempo y reducir sus oportunidades para generar ingresos propios (King y King, 2022; Reyes, 2022; Shibata, 2020; Zamudio-Sánchez *et al.*, 2017).

DISCUSIÓN

Los resultados permitieron identificar la violencia y la prevalencia que afecta a las usuarias del transporte público. No obstante, no se pudo establecer con certeza la magnitud de la violencia dirigida hacia los hombres y la minoría de género. Esto se debe a la insuficiencia de material de estudio recopilado en la revisión de literatura y a la limitada investigación desarrollada en estas áreas de interés.

Además, se encontró información que describe la frecuencia de las agresiones en los usuarios del transporte público, pero no se identificaron factores distintivos que permitieran caracterizar a los perpetradores. Igualmente, se constató que los aspectos ambientales

desempeñan un rol significativo en la violencia que se manifiesta en el transporte público, aunque no se pudo establecer que estos factores fueran determinantes en la resolución de la problemática en el transporte público a nivel global.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica llevada a cabo en la presente investigación permitió hallar respuesta para las tres preguntas planteadas. En tal sentido, se logró determinar que la violencia y las agresiones en el transporte público es un fenómeno recurrente que trasciende las fronteras. Esta problemática, en consecuencia, demanda la atención y acción de todas las esferas gubernamentales de cada país. En concreto, se identificaron tres formas directas en las que se manifiesta esta violencia: la física, que abarca desde agresiones hasta actos de violación; la verbal, que engloba comentarios ofensivos, silbidos y propuestas sexuales; y finalmente, la no verbal, que va desde miradas lascivas hasta el seguimiento de los usuarios del transporte público. De estas tres, sin embargo, la más usual es la violencia verbal. Esta forma de agresión se presenta en diversos momentos durante el uso del transporte público, especialmente al acercarse a un nodo de abordaje, durante el abordaje, en el transcurso del trayecto y al momento del descenso en el destino final.

Finalmente, cabe señalar que los factores ambientales también desempeñan un papel fundamental en la génesis de la violencia y la agresión en el transporte público. Estos factores, en definitiva, contribuyen a la manifestación de la violencia, aunque no son determinantes en la resolución de la problemática, como se podría anticipar al implementar mejoras en distintas áreas.

Contribución para futuras líneas de investigación

El presente trabajo permitió identificar áreas de oportunidad que podrían ser objeto de un análisis más exhaustivo. Entre estas áreas se destacan las medidas de sensibilización, la promoción de una cultura de respeto y la implementación de leyes que salvaguarden a la minoría de género en el contexto del transporte público. Los estudios examinados en distintos aspectos han demostrado que la minoría de género (diversidad) experimenta un impacto de tan solo el 10 %. Sin embargo, resultaría enriquecedor profundizar en este análisis, dado que el porcentaje de encuestados y entrevistados que han confirmado haber sufrido algún tipo de agresión mencionada en el texto arroja un resultado del 100 %, lo que sugiere que la totalidad de las personas pertenecientes a la minoría de género han sido víctimas.

Por otra parte, sería pertinente considerar la implementación de un sistema de seguridad de control remoto y tecnológico. Esto adquiere relevancia considerando que aún persisten los métodos de seguridad tradicionales, como la vigilancia física por parte de las fuerzas del orden público. No obstante, esta modalidad limita la capacidad de reacción de manera determinante y contundente ante situaciones de violencia y agresión en el transporte público.

Otro aspecto de interés en la revisión de la literatura es la inclusión en algunos casos de la música como un posible factor de violencia y su efecto en los usuarios del transporte público en términos de acoso y violencia sexual. Por ello, es necesario resaltar que este tema requiere una investigación más detallada para determinar el verdadero alcance de la música en el contexto de la violencia.

En última instancia, es imperativo desarrollar investigaciones más profundas que permitan la creación de perfiles de victimarios con el propósito de establecer controles de seguridad en el ámbito del transporte público.

REFERENCIAS

- Ahmed, B., Yousaf, F. and Asif, U-R. (2021). Combating Street Harassment: A Challenge for Pakistan. *Women & Criminal Justice*, 31(4), 283-293, DOI: 10.1080/08974454.2019.1644697
- Fileborn, B. (2019). Naming the unspeakable harm of street harassment: a survey-based examination of disclosure practices. *Violence Against Women*, 25, 223-48. <https://doi.org/10.1177/1077801218768709>.
- Gekoski, A., Gray, J. M., Adler, J. R. and Horvath, M. (2017). The prevalence and nature of sexual harassment and assault against women and girls on public transport: an international review. *Journal of Criminological Research, Policy and Practice*, 3(1), 3-16.
- Hernández, D. (2012). Activos y estructuras de oportunidades de movilidad. Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y la equidad. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 38(115).
- Higgins, J. y Green, S. (eds.) (2011). *Manual Cochrane para revisiones sistemáticas de intervenciones versión*, 5(0).
- Kager, R., Bertolini, L. and Brömmelstroet, M. (2016). Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation Research Part A. Policy and Practice*, 85, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.015>
- Kelly, J., Kabanga, J., Cragin, W., Alcayna-Stevens, L., Haider, S. and Vanrooyen, M. (2012). ‘If your husband doesn’t humiliate you, other people won’t’: Gendered attitudes towards sexual violence in eastern Democratic Republic of Congo. *Global Public Health*, 7(3), 285-298.
- Law, R. (1999). Beyond Women and transport: Towards New Geographies of Gender and Daily Mobility. *Progress in Human Geography*, 23, 567-588.
- Loukaitou-Sideris, A. (2020). A gendered view of mobility and transport. In I. Sánchez and M. Neuman (eds.), *Engendering cities: designing sustainable urban spaces for all*.
- Meinck, F., Cluver, L., Boyes, M. and Mhlongo, E. (2015). Risk and Protective Factors for Physical and Sexual Abuse of Children and Adolescents in Africa: A Review and Implications for Practice. *Trauma, Violence, y Abuse*, 16(1), 81–107. <https://doi.org/10.1177/1524838014523336>
- ONU Mujeres (2018). *Encuesta sobre la violencia sexual en el transporte y otros espacios públicos en la Ciudad de México*. <https://www2.unwomen.org//media/field%20office%20mexico/documentos/publicaciones/2018/safe%20cities/analisisresultadosencuesta%20cdmx%20f.pdf?la= es&vs=2419>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. y Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.

- Powers, M. (2017). “Why the #MeToo Movement is a Public Transportation Issue.” *Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/news/dr-gridlock/wp/2017/10/20/why-the-me-too-movement-is-a-public-transportation-issue/>
- Romero-Torres, J. and Ceccato, V. (2020). Youth safety in public transportation. In *Crime and Fear in Public Places* (pp. 171-185). Routledge.
- UN-Habitat (2019). *Safer cities programme*. UN-Habitat, New York.

Aprovechando la inteligencia artificial como herramienta metodológica para la optimización del proceso de deshidratación de tomate

Leveraging Artificial Intelligence as a Methodological Tool for Fruit Dehydration Process Optimization

Gabriela Fuentes

Tecnológico Nacional de México/ IT de Cd. Juárez, México
gfuentes@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/>

Octavio García Alarcón

Tecnológico Nacional de México, IT Superior de Xalapa, México
octavio.garcia@itsx.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0951-4476>

Adán Valles Chávez

Tecnológico Nacional de México/ IT de Cd. Juárez, México
avalles@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6559-0123>

RESUMEN

El proceso de deshidratación de frutos tiene un papel importante en la mejora de la vida útil, la reducción del desperdicio y la preservación de la calidad nutricional. Los métodos tradicionales de deshidratación de frutos a menudo se basan en la intervención manual y la toma de decisiones subjetivas, lo que genera resultados inconsistentes e ineficientes. El surgimiento de la inteligencia artificial (IA) ofrece una oportunidad para revolucionar el proceso de deshidratación de frutas al brindar información basada en datos, modelos predictivos y sistemas de control automatizados. Este artículo, por tanto, propone una metodología para la utilización efectiva de la IA como herramienta en el proceso de deshidratación de frutos. La metodología propuesta tiene un gran potencial para revolucionar dicha industria. Al aprovechar las técnicas de IA, los fabricantes y procesadores pueden mejorar sus capacidades de toma de decisiones, optimizar el proceso de producción y lograr productos de frutas deshidratadas de alta calidad. Además, la integración de sistemas de control y la automatización impulsados por IA pueden generar importantes ahorros de costos, aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental. Este trabajo busca explicar de manera sencilla el procedimiento de obtención de un modelo de deshidratado a través de una IA, que pueda ser reproducido y aplicado en cualquier laboratorio para su futura implementación en algún proceso.

Palabras clave: inteligencia artificial, deshidratación de alimentos, modelado, implementación.

ABSTRACT

The process of fruit dehydration plays a vital role in enhancing shelf life, reducing waste, and preserving nutritional quality. Traditional methods of fruit dehydration often rely on manual intervention and subjective decision-making, leading to inconsistent results and inefficiencies. The emergence of Artificial Intelligence (AI) presents an opportunity to revolutionize the fruit

dehydration process by offering data-driven insights, predictive modeling, and automated control systems. This paper proposes a methodology for the effective utilization of AI as a tool in the fruit dehydration process. The proposed methodology holds great potential for revolutionizing the fruit dehydration industry. By leveraging AI techniques, manufacturers and processors can enhance their decision-making capabilities, streamline the production process, and achieve consistent high-quality dehydrated fruit products. Furthermore, the integration of AI-driven automation and control systems can lead to significant cost savings, increased productivity, and reduced environmental impact. This work tries to explain in a simple way the procedure for obtaining a dehydrated model through an AI and that can be reproduced and applied in any laboratory for its future implementation in any process.

Keywords: Artificial intelligence, fruit dehydration, modeling, implementation.

INTRODUCCIÓN

El proceso de deshidratación de frutas es una técnica ampliamente utilizada para prolongar su vida útil, reducir el desperdicio y preservar su calidad nutricional. Sin embargo, los métodos tradicionales de deshidratado a menudo dependen de la observación y toma de decisiones subjetivas, lo que puede resultar en resultados inconsistentes. En este contexto, la aparición de la inteligencia artificial (IA) ofrece una oportunidad para revolucionar este proceso al proporcionar conocimientos basados en los datos para generar con estos modelos predictivos y posteriormente la posible implementación de sistemas de control. Por tanto, este documento presenta —de manera didáctica para que pueda ser fácil de reproducir— una metodología sencilla para emplear la IA como herramienta en el proceso de deshidratado de frutos. La metodología abarca desde la recolección de datos hasta el desarrollo del modelo con el objetivo de permitir la futura toma de decisiones en las diferentes etapas del deshidratado. De esta forma, se puede mejorar la calidad del producto, su fácil automatización e incluso una posible reducción del consumo de energía.

Una de las ramas más utilizadas y estudiadas dentro del contexto de la inteligencia artificial es el que corresponde a las redes neuronales artificiales (RNA) (Larranaga et al., 2023). Estas se configuran con los datos de elementos procesadores de información, de cuya interacción local depende todo el conjunto formado en el sistema (Alaloul y Qureshi, 2020). Una de las principales características de estas redes neuronales artificiales es la de intentar replicar el comportamiento del cerebro en cuanto al aprendizaje en función de eventos sucedidos en el tiempo que alimentan la toma de decisiones futuras (Zou *et al.*, 2009). Estos sistemas o RNA desarrollados mediante programación se establecen modelando a través de estructuras de procesamiento de cálculo emulado y con la configuración de una arquitectura de sistemas que imitan a la de la red de neuronas de origen biológico (Zou *et al.*, 2009).

Cuando se utiliza una red neuronal artificial se tienen en cuenta tres etapas: la primera involucra el diseño donde se elige el tipo de red neuronal (arquitectura), la cantidad de neuronas que generará, la función de activación definida para la función y el algoritmo de aprendizaje. La fase de entrenamiento presenta una serie de entradas y salidas a la red neuronal, de las cuales aprende mediante el uso del algoritmo de entrenamiento (Alaloul y Qureshi, 2020). Luego, para la implementación desde un punto de vista general, primero se recopila un conjunto de datos que incluye características de las frutas, parámetros ambientales y lecturas de sensores. Posteriormente, se aplican técnicas de preprocesamiento para limpiar y normalizar los datos, asegurando su compatibilidad para el entrenamiento de los modelos de IA. A continuación, se identifican las variables de entrada relevantes que tienen un im-

pacto significativo en el proceso de deshidratado y la salida deseada para luego elegir un modelo de red neuronal que definirá su configuración, velocidad de aprendizaje y precisión de predicción.

Ya elegida esta red, se procede a su entrenamiento con un conjunto de datos de entrada de los experimentos realizados (vector de entrenamiento). Obtenido el modelo, se procede a introducirle datos experimentales (vector de prueba) para recabar datos de salida sintéticos (predicciones). Finalmente, se realiza una comparación de datos reales de salida del vector de prueba contra los datos obtenidos de la predicción (datos de salida sintéticos) para determinar el grado de error en la predicción. En caso de obtener errores cercanos a las necesidades deseadas, se procede a la implementación del modelo en algún sistema embebido local o en la nube; y en caso de que el porcentaje de error no sea el esperado, se procede a reconfigurar y reentrenar la red neuronal hasta obtener el resultado esperado.

Antecedentes

La seguridad alimentaria es una preocupación importante en gran parte del mundo, ya que alrededor de un tercio de la producción mundial de alimentos (cerca de 1300 millones de toneladas) se pierde anualmente debido a la falta de un procesamiento adecuado (Gustavsson *et al.*, 2011). El desperdicio de alimentos no solo significa la pérdida de alimento, sino también de los recursos utilizados en la producción, como la tierra, el agua, la energía y los insumos laborales. Además, los alimentos desperdiciados contribuyen a las emisiones masivas de carbono, responsable del problema del calentamiento global actual. Por lo tanto, se debe enfatizar el procesamiento adecuado de los alimentos para reducir esta pérdida masiva, promover la seguridad alimentaria, disminuir el calentamiento global y combatir el hambre.

El secado o deshidratación es un método de conservación de alimentos que inhibe el crecimiento de bacterias, levaduras y moho mediante la eliminación de agua (Gustavsson *et al.*, 2011; Karim y Hawlader, 2005; Sun *et al.*, 2019). El método de deshidratado de alimentos es uno de los más usados para la conservación, almacenamiento y/o transporte durante largos periodos de tiempo. La deshidratación permite preservar alimentos altamente perecederos, cuyo contenido de agua es típicamente superior al 90 % (Ochoa, 2013). El objetivo principal, por tanto, es reducir su humedad. Esto permite la disminución de actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse en el alimento. Las principales variables que intervienen para que la velocidad del movimiento del agua en el alimento se mueva son el tiempo de exposición y la temperatura. El nivel de agua deseado es determinado por el tipo de producto final y las normas alimenticias de cada país o cliente (Gómez, 2009; Monsalve, 2007).

Aunque existen diversos métodos de deshidratado —que van desde los más artesanales hasta los más sofisticados—, el deshidratado con aire caliente forzado es el más común para secar productos alimenticios (Doymaz, 2007). En este, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos utilizando túneles o cabinas (hornos) en donde se coloca el producto, y se tiene conocimiento que es el más eficiente y recomendado, ya que la mayoría de los equipos construidos pueden controlar en el proceso de secado tanto la temperatura como la velocidad del aire (El-Aouar, 2003).

Como dato importante, cabe resaltar no solo que el incremento en la velocidad del aire puede provocar la reducción de la tensión en la capa de difusión —lo que causa una deshidratación eficiente (Doymaz, 2007)—, sino también que el uso de temperaturas muy altas puede re-

ducir el tiempo de secado; esto, sin embargo, se convierte en una potencial desventaja, ya que origina cambios en el sabor, color, contenido nutricional, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos (Ochoa-Reyes, 2013). También las temperaturas elevadas causan la formación de aromas indeseables.

En contraste, su principal ventaja radica en que depende de la velocidad y la temperatura del aire empleado, factores que pueden ser controlados (Mulet, 1999). El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente o en paralelo y generalmente la deshidratación con aire caliente a contracorriente es más eficiente que la lograda con el flujo de aire en paralelo (Ochoa-Reyes, 2013). En la literatura se encuentran diversos estudios de modelado de deshidratado de alimentos. Actualmente, los modelos matemáticos existentes están categorizados en cuatro grupos, según (Khan, 2020).

Por otro lado, la inteligencia artificial se utiliza como herramienta en los modelos de tercera y cuarta generación; en tal sentido, las diversas técnicas de IA tienen oportunidad de aportar características que se diferencian principalmente en el gasto computacional por su configuración. Existen modelos para una amplia gama de procesos, incluidos el secado por convección. Entre ellos hay algunos que estudian la cinética de secado utilizando muestras de manzana en un secador de aire caliente, considerando la contracción del material y los coeficientes de difusión de la humedad y la temperatura (Golestani, 2013). Otra aplicación es un modelo que estudia la transferencia de masa y calor de puré de papa en un horno de microondas casero para predecir la pérdida de humedad (Chen, 2014). En Qadri *et al.* (2020) se estudia el deshidratado de una alfombra de papaya con un horno de microondas, lo que permite obtener el modelo por varias metodologías de IA y probar su eficiencia para predecir el rango de deshidratado con diferentes condiciones (Sarkar *et al.*, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

a. Modelo de secado o modelo del cambio de humedad

Antes de describir los pasos seguidos en la metodología para obtener datos y para el entrenamiento de la RN, es necesario referirse al modelo del proceso. La ecuación (1) representa la proporción de cambio de la humedad:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s},$$

donde:

X_t = Humedad al tiempo t (kg de agua/ kg de sólido seco),

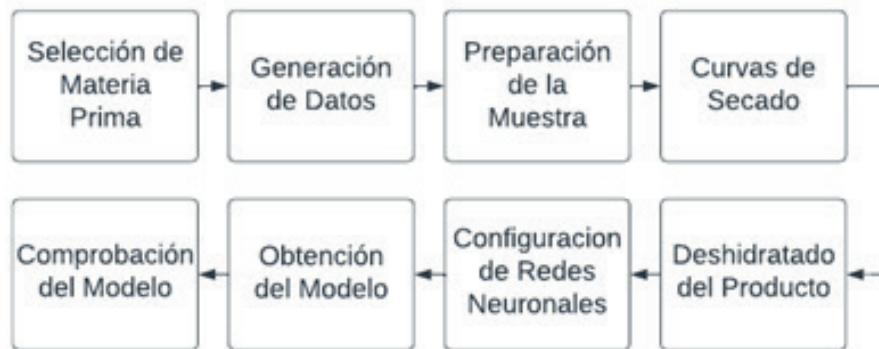
- W = Peso del sólido húmedo (kg totales de agua),
- W_s = Peso del sólido seco o “bone dry” (kg del sólido seco).

Esta ecuación sirve para determinar el cambio de la humedad en el producto por deshidratar; aunque existen varias, es la más usada. El rango de cambio de esta ecuación está dado por los parámetros del horno y del producto por deshidratar, los cuales son desconocidos por el usuario; el proceso para obtenerlos por algún método experimental es complejo y requiere de instrumentos caros y sofisticados. Este modelo es el que predecirá la red neuronal a través de los datos experimentales.

b. Metodología para la obtención del modelo

De manera general, la metodología seguida fue la siguiente (figura 1):

Figura 1. Metodología utilizada para la obtención del modelo



Fuente: Elaboración propia

El código se realizó en Python, usando la plataforma de Google Colab, por su facilidad y practicidad. Las librerías utilizadas fueron matplotlib, numpy, pandas, sklearn y tensorflow, mientras que el código completo puede verse en el anexo 1.

c. Selección de la materia prima

Como materia prima se eligieron tomates frescos de tipo *saladette*, obtenidos de un supermercado local, los cuales cumplieran con las características de color rojo brillante, sin golpes en la superficie, y condiciones visibles ideales que indican madurez; además, a simple vista tenían el mismo tamaño. Para la preparación del tomate, se lavó cada pieza previamente con agua y jabón con la finalidad de remover las partículas adheridas; posteriormente, se desinfectó con bactericida (microdyn).

Con la finalidad de obtener trozos uniformes y consistentes, se utilizó un rebanador de verduras tipo mandolina, el cual tenía la capacidad de ajustar con precisión el grosor de las rebanadas. La capacidad de ajustes de grosor permitida estuvo en un rango de 1 a 9 mm (figura 2). Luego, para comprobar el grosor de las rebanadas, se utilizó un vernier digital (figura 8). Finalmente, se utilizó una cinta métrica para corroborar las dimensiones radiales de las rebanadas.

Figura 2. Mandolina utilizada para el rebanado



Fuente: Elaboración propia propia

Figura 3. Rebanadas del mismo grosor



Fuente: Elaboración propia

d. Generación de los datos

Para la obtención de datos, se utilizó un horno eléctrico de marca Oster TSSTTVFDXL 42L con funciones de convección de 120 V (figura 4). Este mismo fue instrumentado con 4 sensores en su interior de tipo PT100 (figura 5) distribuidos estratégicamente para recopilar la temperatura del aire en su interior; asimismo, un sensor de tipo DHT11 en su exterior con el propósito de obtener la humedad del ambiente (figura 6). Los datos que generaron los sensores fueron enviados a una computadora a través de una tarjeta ESP32 y la interfase Node-Red (figura 7).

Figura 4. Horno instrumentado para el experimento



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Interior del horno, 4 sensores PT100



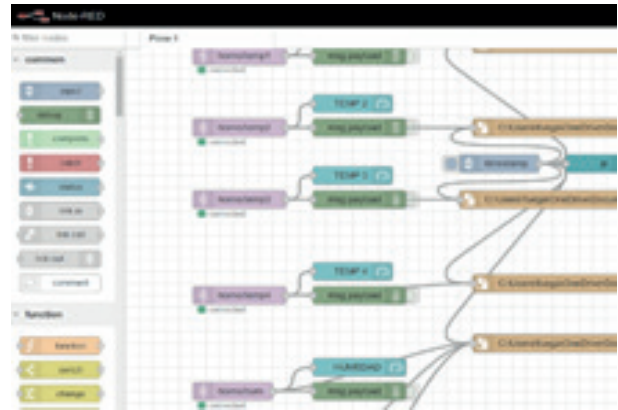
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Sensor DHT11 y tablilla ESP32



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Interfase Node-RED para la generación de datos



Fuente: Elaboración propia

e. Preparación de la muestra (y del “sólido seco”)

Para determinar las condiciones operativas, se hicieron rebanadas de tomate uniformes utilizando la mandolina. Se inició con el grosor en 3mm, luego en 5mm y finalmente en 6mm. El grosor de las rebanadas se midió con un vernier digital (figura 8) y su radio con una cinta métrica. Posteriormente, cada rebanada fue pesada en una balanza analítica (figura 9) para precisar su peso inicial y monitorear cómo iba cambiando a través del tiempo. Se dividió el horno en 4 cuadrantes, y se etiquetó cada rebanada de tomate para ingresar al cuadrante específico. Con estos datos se generaron tablas de datos para monitorear el progreso de cada una de las muestras. Adicional a esto, se preparó el sólido seco (*bone dry* por sus siglas en inglés). El *bone dry* es el peso del producto una vez que se ha secado completamente hasta la ceniza, lo que significa que ha perdido toda la humedad. En el modelo está representado por la variable $W_{bone\ dry}$, que en otras palabras equivale a la masa total menos menos la masa de la humedad. Esta variable es necesaria en la ecuación para tener la referencia de cambio.

Figura 8. Vernier digital



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia

f. Obtención de datos del secado

El secado se realiza a una temperatura específica (en este ejemplo, a 90°C). Para determinar la pérdida de humedad de las rebanadas, se pesaron en una balanza analítica durante intervalos de 10 y 20 minutos hasta llegar a un contenido de humedad del 10 +/- 1%. Todos los datos registrados a través de los sensores y la interfaz de Node-RED fueron guardados en archivos de texto con la siguiente estructura:

Figura 10. Archivo separado por columnas

	date_time	heatI	hum	temp	temp1	temp2	temp3	temp4	w1	w2	w3	w4
0	5/5/2022 9:15:00	17.241	32	18.5	98.490	97.132	91.410	88.556	8.850	9.400	9.730	9.620
1	5/5/2022 9:15:00	17.241	32	18.5	98.188	97.132	92.162	89.007	8.842	9.391	9.723	9.612
2	5/5/2022 9:15:00	17.241	32	18.5	98.188	97.584	93.666	88.856	8.834	9.382	9.716	9.605
3	5/5/2022 9:16:00	17.241	32	18.5	98.188	98.037	92.312	89.007	8.826	9.373	9.708	9.597
4	5/5/2022 9:16:00	17.241	32	18.5	97.735	97.282	92.914	89.307	8.819	9.364	9.701	9.590
...
1261	5/5/2022 10:05:00	20.138	25	21.3	133.734	127.885	132.039	142.857	0.811	0.820	1.424	1.223
1262	5/5/2022 10:05:00	20.138	25	21.3	133.734	128.500	131.885	142.392	0.805	0.815	1.418	1.218
1263	5/5/2022 10:05:00	20.138	25	21.3	134.197	128.038	131.577	142.392	0.800	0.810	1.412	1.212
1264	5/5/2022 10:05:00	20.138	25	21.3	133.272	128.346	131.885	141.462	0.795	0.805	1.406	1.206
1265	5/5/2022 10:05:00	18.132	24	19.5	132.655	127.731	130.191	141.152	0.790	0.800	1.400	1.200

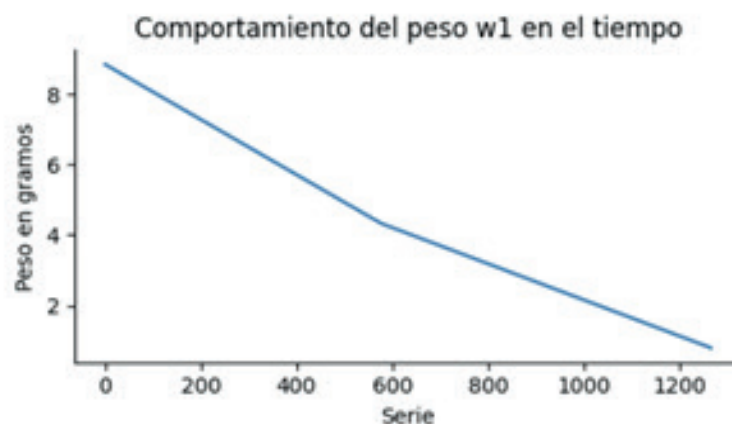
Fuente: Elaboración propia

Donde:

- date_time = fecha y hora del experimento
- heatl = índice de calor (sensor DHT11)
- hum = humedad (sensor DHT11)
- temp = temperatura ambiente (sensor DHT11)
- temp1 = temperatura del cuadrante 1 (sensor PT100-1)
- temp2 = temperatura del cuadrante 2 (sensor PT100-2)
- temp3 = temperatura del cuadrante 3 (sensor PT100-3)
- temp4 = temperatura del cuadrante 4 (sensor PT100-4)
- w1 = peso de rebanada 1
- w2 = peso de rebanada 2
- w3 = peso de rebanada 3
- w4 = peso de rebanada 4

Este es el dataset (grupos de datos) utilizado posteriormente para entrenar la red neuronal. Para facilitar la demostración en este trabajo, se usará únicamente la variable de temperatura “temp1” como entrada y el peso “w1” como salida. La figura 11 representa la evolución temporal del peso “w1”, donde puede observarse la pérdida de masa.

Figura 11. Evolución temporal del peso en la rebanada 1



Fuente: Elaboración propia

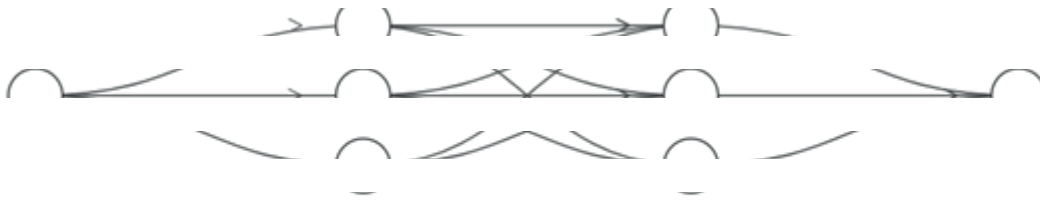
Este dataset será dividido en dos partes (tanto el vector de entrada como el de salida) y al azar. La primera mitad será llamada como *dataset de entrenamiento* y la segunda mitad como *dataset de prueba*. Esto se realiza en las líneas de código 71- 79; y como sus nombres lo indican, la primera mitad será para entrenar el modelo y la otra para probar que el entrenamiento; por lo tanto, el modelo estimado es el correcto.

g. Configuración de la red neuronal

La red neuronal utilizada es de una capa de entrada de una neurona, dos capas ocultas de tres neuronas cada capa y una capa de salida (figura 12). La variable de entrada de la capa es la temperatura “temp1” y la capa de salida es el peso “w1”. En el código del anexo 1, en

las líneas 61-70 puede verse cómo configurar la red.

Figura 12. Arquitectura de la red implementada

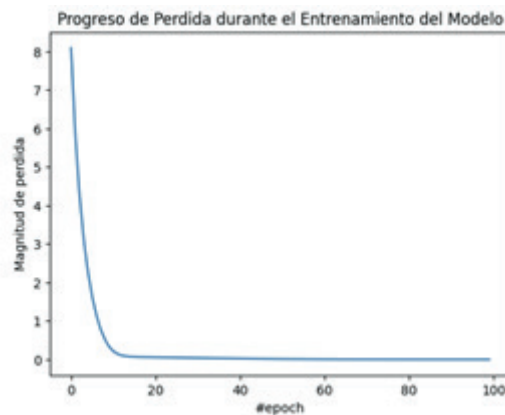


Fuente: Elaboración propia

h. Obtención del modelo a través de la red neuronal

El entrenamiento de la red neuronal usando los datasets mencionados en el paso anterior sirven para hacer la estimación del modelo correspondiente a la ecuación (1). Los pasos para hacer el entrenamiento están en las líneas 87-91 del código mostrado en el anexo 1. Finalmente, con el modelo ya entrenado, puede verse la tendencia de la pérdida a través del tiempo conforme el modelo se entrena para obtener una pérdida cercana a cero (figura 13).

Figura 13. Gráfica de pérdida en el entrenamiento



Fuente: Elaboración propia

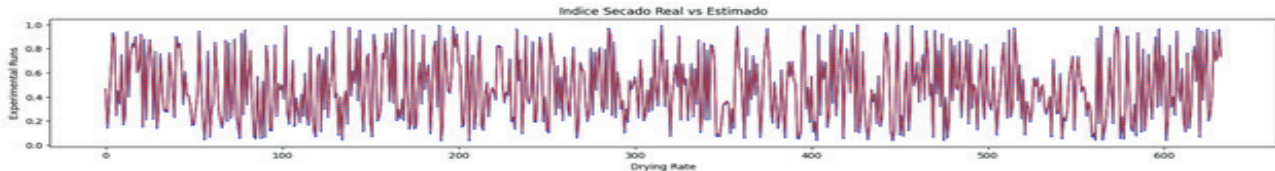
RESULTADOS

Comprobación del modelo

Como puede observarse la línea 80 a la 84 del código el modelo entrenado esperado correspondiente a la ecuación (1) como se muestra en la línea 85. Para comprobar que este modelo es correcto, al modelo entrenado se le introduce el vector de entrada de prueba. Este modelo generará un vector de salida estimado, el cual será comparado con el vector de salida de prueba. Si la resta de esos dos vectores de salida son cero o muy cercanos a

cero, el modelo entrenado es correcto; en caso contrario, el entrenamiento debe realizarse de nuevo. Todo lo antes mencionado se encuentra en el código de las líneas 85-95. En la figura 14 puede observarse la evolución temporal de los dos vectores graficados.

Figura 14. Evolución temporal del vector de salida estimado por el modelo vs. el vector de salida de prueba



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en las líneas 96-109 puede verse el cálculo del error cuadrático medio, el cual es cercano a cero.

i. Usos posteriores del modelo

Con el modelo entrenado y habiendo comprobado que sus predicciones son correctas, puede usarse para una implementación real. Esta puede ayudar a tomar decisiones para implementar un control de la potencia del horno, lo cual representaría un cambio en la temperatura para obtener la cantidad de humedad deseada en el producto. La implementación puede lograrse de manera embebida en algún dispositivo, como una Raspberry e incluso un Arduino, usando el modelo entrenado en alguno de estos dispositivos y teniendo como entrada a las tarjetas la temperatura actual y estimando la cantidad de humedad del producto. Esta sería la forma más sencilla de implementar un esquema de control, aunque existen otros más sofisticados que dependerán de la necesidad del usuario.

CONCLUSIONES

En el presente documento se explicó de manera general el proceso para entrenar a una red neuronal y para obtener el modelo de secado o deshidratado de frutos (en este caso, de tomate). Los pasos por seguir son sencillos y se trataron de abordar de manera práctica para su fácil implementación. Los esquemas de uso e implementación del modelo estimado pueden ser variados, pero son tema ajeno a este artículo. Para cualquier duda en la implementación se anexa el código para que sea probado e implementado.

Futuras investigaciones

Este fue un trabajo experimental que debe ser reproducido. Como puede observarse, la RNA utilizada en este trabajo fue una red sencilla, que consumía pocos recursos, con un modelo fácilmente aplicable. Como futuro trabajo se plantea trabajar con la implementación final del modelo en un deshidratador que requiera el mínimo de capacidad computacional para buscar la optimización del consumo computacional y del producto por deshidratar, el

cual puede ser distinto al presentado en este trabajo. De igual forma, se busca trabajar con la identificación del modelo aplicado a otro tipo de deshidratadores solares que puedan ayudar a productores a mejorar su producción con poco dinero y de manera óptima.

Anexo 1

CÓDIGO UTILIZADO

```
1 from google.colab import files
2 files.upload()

3 file name "5m2_newFilea.txt
4 # carga los datos
5
6 import pandas as pd
7 import numpy as np
8 import matplotlib.pyplot as plt
9 from sklearn.model_selection import train_test_split
10 from sklearn.preprocessing import StandardScaler
11 from sklearn.linear_model import LinearRegression
12 from sklearn.pipeline import make_pipeline
13 from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score
14 from sklearn import datasets
15 import tensorflow as tf
16 import keras
17 df = pd.read_csv("5m2_newFilea.txt", delimiter = ";",)
18 df
19 #Del dataset inicial, tomo solamente las columnas de datos que deseo
20 trabajar, con esto calculare el indice de humedad
21 subDataSet = df.iloc[1:,8:12]
22 subDataSet.rename(columns = {8:'w1',9:'w2',10:'w3',11:'w4'}, inplace = True)
23 print(subDataSet)
24 newDF=subDataSet.assign(BoneD=0.5)
25 newDF = newDF.astype({'w1':'float','w2':'float','w3':'float','w4':'float'})
26 print(newDF)
27 pesoInicial = 8.850
28 boneDry = 0.5
29 newDF["MR"] = (newDF["w1"] - newDF["BoneD"])/(pesoInicial-boneDry)
30 print(newDF)
31 #Para no perder mi archivo inicial, genero un nuevo archivo que contiene
32 unicamente los datos de mi interes
33 newDF.to_csv("MR1.txt", index=False)
34 #Vamos a imprimir Entrada W1 vs Salida MR1
35
36 print (newDF["MR"])
37
38 #Vamos a imprimir el comportamiento de la variable W1
39 from importlib import reload
40 reload(plt)
41
42 v=newDF["MR"]
43 X=np.arange(0,1265)
44 plt.plot(X,y,color= 'r',label='experimento')
45 # Labelling
46
47 plt.xlabel("Arrange")
48 plt.ylabel("Indice de Humedad")
```

```

49 plt.title("Comportamiento del Índice de Humedad")
50 plt.show()
51 #Declararemos un Dataset Nuevo para trabajar
52 df2 = pd.read_csv("MR1.txt" ,delimiter = ",")
53 df2.head()
54 #Divido datos de entrada y Salida X y Y
55 #Entrada
56 X2 = df2.iloc[:,0,]
57 X2
58 #Salida
59 Y2 =df2.iloc[:,5,]
60 Y2
61 #Configuracion de Capas con 2 capas ocultas
62 oculta1 = tf.keras.layers.Dense(units=3, input_shape=[1])
63 oculta2 = tf.keras.layers.Dense(units=3)
64 salida = tf.keras.layers.Dense(units=1)
65 modelo = tf.keras.Sequential([oculta1, oculta2, salida])
66 #Modifique el optimizador Adam de 0.10 a 0.001
67 modelo.compile(
68     optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(0.001),
69     loss='mean_squared_error'
70 )
71 #Divido el Data Set en Entrenamiento y Prueba
72 #por default el metodo split toma 75% entrenamiento y 25% prueba....yo elegi
73 a 50-50
74 #Me aseguro que la cantidad de renglones correspondan
75 from sklearn.model_selection import train_test_split
76 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X2, Y2, train_size=0.5,
77 random_state=1)
78 print (X_train, y_train)
79 print (X_test, y_test)
80 #Comienza mi entrenamiento, Inicialmente tenia 1000 epochs, pero por
81 sugerencia del Dr. cambie a 100
82 print("Comenzando entrenamiento...")
83 historial = modelo.fit(X_train, y_train, epochs=100, verbose=False)
84 print("Modelo entrenado")
85 from importlib import reload
86 reload(plt)
87 #Grafico la perdida
88 plt.xlabel("#epoch")
89 plt.ylabel("Magnitud de perdida")
90 plt.title("Progreso de Perdida durante el Entrenamiento del Modelo")
91 plt.plot(historial.history["loss"])
92 #predicciones
93 vector_salida_prueba=modelo.predict([X_test])
94 vector_salida_prueba
95 y_test
96 #RMSE y MSE
97 from sklearn.metrics import mean_squared_error
98 import math
99 actual = y_test
100 predicted = vector_salida_prueba
101 MSE = mean_squared_error (actual, predicted)
102 RMSE = math.sqrt (MSE)
103 print("Root Mean Square Error: ", RMSE)
104 print("Mean Squared Error: ", MSE)
105 from sklearn.metrics import mean_absolute_error
106 actual =y_test
107 predicted = vector_salida_prueba
108 MAE = mean_absolute_error (actual, predicted)
109 print(" MAE: ", MAE)

```


REFERENCIAS

- Alaloul, W. S. and Qureshi, A. H. (2020). Data processing using artificial neural networks. In D. Harkut (ed.), *Dynamic data assimilation-beating the uncertainties*. <https://www.intechopen.com/chapters/71673>
- Chen, J., Pitchai, K., Birla, S., Negahban, M., Jones, D. and Subbiah, J. (2014). Heat and Mass Transport during Microwave Heating of Mashed Potato in Domestic Oven—Model Development, Validation, and Sensitivity Analysis. *Journal of Food Science*, 79(10), E1991-E2004. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12636>
- Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291-1297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>
- El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M. and Murr, F. E. (2003). Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 59, 85–91.
- Golestani, R., Raisi, A. and Aroujalian, A. (2013). Mathematical Modeling on Air Drying of Apples Considering Shrinkage and Variable Diffusion Coefficient. *Drying Technology*, 31, 40-51. doi:10.1080/07373937.2012.714826
- Gómez, M. (2009). *Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias* (tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R. and Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste: causes and prevention*. FAO Rome.
- Karim, M. A. and Hawlader, M. N. (2005). Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 4914–4925.
- Khan, M. I., Sablani, S. S., Joardder, M. U. and Karim, M. A. (2020). Application of machine learning-based approach in food drying: Opportunities and challenges. *Drying Technology*, 40(6), 1–17.
- Larranaga, P., Inza, I. and Moujahid, A. (2023). Tema 8: redes neuronales.
- Monsalve, J. and Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) variedad manzano. *Multiciencias*, 7, 256–265.
- Mulet, A., Sanjuan, N., Bon, J. and Simal, S. (1999). Drying model for highly porous hemispherical bodies. *European Food Research and Technology*, 210, 80-83. doi:<https://doi.org/10.1007/S002170050538>
- Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J., Ruiz-Cruz, S. and Ibarra-Junquera, V. (2013). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. *Biotecnia*, 15(2), 29-46.
- Qadri, O., Osama, K and Srivastava, A. (2020). Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. *Food Process Engineering*, 43(2). doi:DOI: 10.1111/jfpe.13394
- Sarkar, T., Salauddin, M., Kumar, S. and Chakraborty, R. (2020). Artificial neural network modeling approach of drying kinetics evolution for hot air oven, microwave, microwave convective and freeze-dried pineapple. *SN Applied Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03455-x>
- Sun, Q., Zhang, M. and Mujumdar, A. S. (2019). Recent developments of artificial intelligence in drying of fresh food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2258–2275.

Zou, J., Han, Y. and So, S.-S. (2009). Overview of Artificial Neural Networks. En D. J. Livingstone, *Artificial Neural Networks: Methods and Applications* (pp. 14-22). Humana Press. doi:10.1007/978-1-60327-101-1_2

Impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria

Impact of Public Policies on Food Security

María Luisa López Roa

Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui
maria.Lr@vyaqui.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4104-4873>

Rigoberto Reyes Valenzuela

Tecnológico Nacional de México campus Mexicali
rigobertoreyes@mexicali.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8570-8563>

Raúl Torres Roa

Tecnológico Nacional de México campus Orizaba
raul.tr@orizaba.tecnm.mx
<https://orcid.org/0009-0003-5588-5256>

RESUMEN

La seguridad alimentaria es un derecho humano; sin embargo, existen múltiples desafíos que obstaculizan su cumplimiento, tales como las variaciones internacionales en los precios de los alimentos, las fluctuaciones en la oferta y la demanda, la importancia de la equidad y la distribución y el cambio climático.

Para conocer cuáles son los principales logros alcanzados por los 193 países que signaron los objetivos de desarrollo sostenible, se realizó un análisis documental y estadístico, el cual indicó que, a partir del primero de enero del año 2000, se han tomado 13510 decisiones políticas y se ha trabajado en 2059 marcos normativos alrededor del mundo para apoyar a el objetivo del hambre cero, lo que indica que se ha avanzado en materia normativa para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible. Además, se encontró que para poner fin al hambre en el mundo en 2030, será necesario invertir en las zonas rurales y urbanas y en protección social a fin de que los pobres tengan acceso a los alimentos y puedan mejorar sus medios de vida.

Palabras clave: seguridad alimentaria, políticas públicas, objetivos de desarrollo sostenible, hambre cero, derechos humanos.

ABSTRACT

Food security is a human right; however, there are multiple challenges that hinder its fulfillment, such as international variations in food prices, fluctuations in supply and demand, the importance of equity and distribution, and climate change.

To learn about the main achievements of the 193 countries that have signed the sustainable development goals, a documentary and statistical analysis was carried out, which indicated that, as of January 1, 2000, 9241 political decisions have been taken and 1841 regulatory frameworks have been developed around the world to support the goal of zero hunger, This indicates that progress has been made in policy to achieve the Sustainable Development Goals and it was found that to end hunger in the world by 2030, it will be necessary to invest

in rural and urban areas and in social protection, so that the poor have access to food and can improve their livelihoods.

Key words: Food security, public policies, sustainable development goals, zero hunger, human rights.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es un derecho humano fundamental, lo cual implica el acceso físico, económico y social a una alimentación suficiente, segura, nutritiva y culturalmente aceptable para todos los individuos y comunidades (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009). Sin embargo, este derecho se ve amenazado por múltiples factores, como la pobreza, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la especulación financiera, los conflictos armados y las crisis sanitarias (De Schutter, 2014).

Según la FAO, en 2020 había 811 millones de personas que sufrían hambre crónica en el mundo, y se estima que esta cifra podría aumentar a 928 millones en 2030 si no se toman medidas urgentes (FAO *et al.*, 2021). Ante este escenario, los gobiernos tienen la obligación de garantizar el derecho a la alimentación de sus poblaciones mediante la formulación e implementación de políticas públicas que promuevan la seguridad alimentaria en todas sus dimensiones: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad (FAO, 2009).

Las políticas alimentarias son el conjunto de acciones e iniciativas del Estado desarrolladas para resolver el problema de la inseguridad alimentaria y nutricional mediante leyes, planes, programas, presupuestos e instituciones relacionadas con el hambre, la desnutrición, la pobreza y la malnutrición (González-Nolasco y Cordero-Torres, 2011). Estas políticas deben estar basadas en los principios de derechos humanos, participación social, equidad, sostenibilidad y coherencia (De Schutter, 2014). Desde el año 2000 a la fecha, se han tomado 13510 decisiones políticas y se ha trabajado en 2059 marcos normativos alrededor del mundo para apoyar el objetivo del hambre cero (FAO *et al.*, 2021).

Por tal motivo, el objetivo general de este capítulo es analizar el impacto de las políticas alimentarias para la seguridad pública a nivel internacional; para ello, se ha considerado el objetivo de desarrollo sostenible “hambre cero”, el cual busca asegurar el acceso de todas las personas a una alimentación sana y nutritiva durante todo el año (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). Se parte de la premisa de que la seguridad alimentaria es un asunto global que requiere de una acción coordinada y solidaria entre los países y las organizaciones internacionales. Se reconoce también que la seguridad alimentaria tiene implicaciones para otros ámbitos como la salud pública, el medio ambiente, el desarrollo económico y social y la paz mundial.

Para realizar este estudio se utilizó el enfoque basado en derechos como una herramienta metodológica útil para el análisis, diseño e implementación de la política alimentaria. Desde la teoría constitucionalista se propone conocer las obligaciones del Estado en materia de derecho a la alimentación, explorar sobre el tipo de alimentos consumidos con mayor frecuencia en diferentes regiones del mundo, así como identificar las causas que limitan o dificultan el desarrollo del contenido del derecho a la alimentación. En tal sentido, se realizó una revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias sobre el tema, así como una consulta a expertos y actores sociales involucrados en la política alimentaria. Asimismo, se aplicó un análisis cualitativo y cuantitativo de los datos obtenidos para evaluar el impacto de

las políticas alimentarias en la seguridad pública.

El capítulo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar se presenta el marco conceptual y normativo del derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria; en segundo lugar se describe el contexto global y regional de la seguridad alimentaria; luego se analiza el diseño e implementación de las políticas alimentarias para la seguridad pública a nivel internacional; después se discuten los resultados y los desafíos pendientes y, finalmente, se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

Las preguntas que orientaron este trabajo fueron las siguientes: ¿cuál ha sido el impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria?, ¿qué papel tienen las políticas públicas en la promoción de la seguridad alimentaria? y ¿qué países han realizado decisiones políticas basadas en el avance del objetivo del hambre cero?

METODOLOGÍA

Este estudio documental se llevó a cabo mediante una búsqueda sistemática y exhaustiva de fuentes primarias y secundarias que contienen las decisiones políticas y los marcos normativos relacionados con el objetivo de desarrollo sostenible número dos. Para eso, se realizaron consultas en bases de datos oficiales de organizaciones internacionales, regionales y nacionales con competencia o participación en la materia, entre las cuales destacan la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa Mundial de Alimentos (PMA), el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Banco Mundial (BM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Para llevar a cabo la búsqueda, se utilizaron palabras clave relevantes como “seguridad alimentaria”, “políticas públicas”, “objetivos de desarrollo sostenible”, “hambre cero” y “derechos humanos”. Estos términos permitieron filtrar los resultados y asegurar que la información obtenida estuviera directamente relacionada con el tema de estudio. Se seleccionaron aquellos documentos que contenían las decisiones políticas y los marcos normativos adoptados por los 193 países que suscribieron los objetivos de desarrollo sostenible desde el año 2000 hasta la fecha. También se incluyeron informes, estudios y evaluaciones que brindaran información relevante sobre la implementación y resultados de dichas políticas.

La muestra documental finalmente utilizada en el estudio constó de 9241 decisiones políticas y 1841 marcos normativos, obtenidos mediante la herramienta para el análisis para las decisiones políticas de alimentación y agricultura (FAPDA, por sus siglas en inglés). Cada decisión política o marco normativo registrado proporcionó información detallada sobre aspectos como país de origen, región a la que pertenece, dimensión de seguridad alimentaria que aborda (acceso, utilización, disponibilidad), horizonte de cumplimiento para la implementación de la decisión de política pública (corto, mediano o largo plazo), tópicos en sus marcos normativos relacionados con el objetivo de hambre cero (seguridad alimentaria y nutrición; nutrición, desarrollo de planes y visiones de largo plazo; protección social; cambio climático; gestión y reducción de riesgos; bosques; agricultura y desarrollo de maíz; estrategias de implementación de mediano plazo; reducción de la pobreza; desarrollo de cadenas de valor; desarrollo territorial; territorios; gestión de recurso hídricos; desarrollo de las juventudes; comercio; acuicultura y pesquería; género; desperdicios de alimentos) y tipos de políticas documentadas (estrategias, políticas, planes, otros).

Estudio estadístico

El estudio estadístico se enfocó en recopilar y procesar datos e indicadores relevantes para medir el avance hacia el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible número dos. Para ello, se utilizaron fuentes oficiales de datos estadísticos de las organizaciones internacionales, regionales y nacionales mencionadas previamente. Se seleccionaron indicadores que se relacionaran con las metas del objetivo, tales como la prevalencia de la subalimentación, la proporción de personas con inseguridad alimentaria moderada o grave, la prevalencia del retraso del crecimiento, la emaciación y el sobrepeso en niños menores de cinco años, así como la proporción de tierras agrícolas bajo sistemas productivos sostenibles, entre otros.

La muestra estadística fue variable según el indicador debido a que no todos los países contaban con datos disponibles o actualizados para cada caso. Se registró un total de una medida por cada país e indicador tomando el valor más reciente disponible en cada instancia. La homogeneidad de las fuentes utilizadas garantizó la confiabilidad y coherencia en la obtención de los datos.

El procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante técnicas descriptivas e inferenciales, acorde con el tipo de variable y el nivel de medición. A través de este enfoque, se obtuvo una visión completa de la situación de cada indicador en los diferentes países y regiones.

Relación entre estudios

La combinación del estudio documental y estadístico permitió establecer una relación significativa entre las políticas públicas implementadas y los resultados obtenidos en materia de seguridad alimentaria. La metodología empleada se fundamentó en un enfoque deductivo, a través del cual se pudieron inferir conclusiones sólidas a partir de los datos observados. También se utilizó un enfoque inductivo para generar hipótesis a partir de los hallazgos encontrados, lo que enriqueció el análisis de los resultados.

La evaluación de la efectividad de las políticas públicas se realizó mediante un criterio analítico, que consideró aspectos clave como la pertinencia, coherencia, eficacia, eficiencia e impacto de dichas políticas. Asimismo, se empleó un criterio normativo para emitir recomendaciones basadas en buenas prácticas, lecciones aprendidas y oportunidades de mejora. El objetivo de esta evaluación fue proporcionar insumos valiosos para fortalecer y optimizar las políticas públicas en favor de la seguridad alimentaria, en consonancia con el objetivo de hambre cero establecido en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

En definitiva, la metodología utilizada en este estudio representa un enfoque riguroso y exhaustivo que permitió abordar con profundidad el análisis del impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria. La combinación de diversas fuentes y técnicas de investigación garantizaron la calidad y la relevancia de los resultados obtenidos, con lo cual se contribuye al conocimiento y a la comprensión de esta problemática tan relevante a nivel mundial. Los hallazgos y conclusiones derivados de este estudio tienen el potencial de orientar futuras decisiones políticas y acciones encaminadas a lograr el objetivo de hambre cero y garantizar el derecho humano a la alimentación para todas las personas.

RESULTADOS

Marco conceptual y normativo del derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria

El derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria son conceptos que se relacionan con el acceso, la disponibilidad, el aprovechamiento y la estabilidad de los alimentos para todas las personas, sin discriminación ni exclusión. Estos conceptos se han desarrollado a lo largo de la historia, desde la Declaración Universal de Derechos Humanos de 1948, que reconoció el derecho a un nivel de vida adecuado que incluye la alimentación (FAO, 2013) hasta la Declaración del Milenio de 2000, que planteó el objetivo de reducir a la mitad el número de personas que padecen hambre en el mundo para el año 2015 (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2012).

El marco normativo internacional del derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria se basa en una serie de pactos, tratados y declaraciones que los Estados han suscrito y ratificado, comprometiéndose a respetar, proteger y garantizar este derecho fundamental. Entre estos instrumentos se destacan el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de 1966, que estableció las obligaciones de los Estados para mejorar los métodos de producción, conservación y distribución de alimentos y para asegurar una distribución equitativa de los alimentos mundiales (UNAM, 2012); la Ley Marco del Parlamento Latinoamericano de 2012, que reconoció el derecho a la alimentación desde una esfera supranacional y propuso una serie de principios y directrices para su implementación (FAO, 2013), y la Ley Marco sobre el Derecho a una Alimentación Adecuada de 2019, que proporcionó una guía para los países que deseen adoptar o reformar sus legislaciones nacionales sobre este tema (FAO, 2020).

El marco conceptual del derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria se basa en una serie de definiciones y criterios que orientan su comprensión e interpretación. Según el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, el derecho a la alimentación se ejerce cuando toda persona tiene acceso físico y económico, en todo momento, a la alimentación adecuada o a medios para obtenerla (UNAM, 2012). Por su parte, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana (FAO, 2013). Estos conceptos implican cuatro dimensiones: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad (Gobierno de México, 2022).

Es importante conocer el marco conceptual y normativo del derecho a la alimentación y la seguridad alimentaria a nivel internacional, ya que permite analizar el impacto de las políticas públicas para garantizar este derecho en el mundo. Asimismo, es necesario identificar los desafíos y las oportunidades que existen para mejorar las condiciones de vida de las personas que sufren hambre y malnutrición, así como para promover una alimentación sostenible y saludable para todos.

La agenda 2030 y el hambre cero

La agenda 2030 para el desarrollo sostenible, adoptada en septiembre de 2015, establece 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. El segundo objetivo de esta agenda

es poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, así como promover la agricultura sostenible, también conocido como el objetivo de “hambre cero”. En este contexto, la presente investigación busca analizar el impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria en los 193 países que firmaron los ODS, considerando la diversidad de contextos y desafíos que enfrentan en su lucha por garantizar el derecho a la alimentación.

El primer pilar de la seguridad alimentaria se refiere a la producción y existencia de alimentos suficientes en el mercado para satisfacer las necesidades de la población. A partir del análisis documental y estadístico, se ha observado que en los últimos años ha habido un aumento global en la producción de alimentos. Varios países han implementado políticas para mejorar la productividad agrícola, promover la investigación y desarrollo en el sector, y aumentar la inversión en infraestructuras rurales. Estas acciones han contribuido a garantizar un mayor abastecimiento de alimentos en muchas regiones del mundo.

No obstante, el aumento en la producción no ha sido uniforme, y algunos países aún enfrentan desafíos en la disponibilidad de alimentos debido a factores como la degradación del medio ambiente, los cambios climáticos y la falta de acceso a tecnologías agrícolas adecuadas. Además, se han registrado diferencias significativas en la producción de alimentos entre regiones, lo que ha llevado a desequilibrios en la distribución y el acceso.

El segundo pilar de la seguridad alimentaria es la capacidad de las personas para obtener alimentos de manera física, social y económica. A pesar de los avances logrados, todavía existen desigualdades importantes en el acceso a alimentos entre diferentes grupos de población y regiones. Algunas comunidades rurales, poblaciones marginadas y personas de bajos ingresos enfrentan dificultades para acceder a alimentos suficientes y nutritivos.

En este contexto, las políticas públicas desempeñan un papel esencial en mejorar la accesibilidad de alimentos para los grupos vulnerables. Se han implementado programas de protección social, subsidios alimentarios y programas de alimentación escolar, entre otras medidas, para asegurar que las poblaciones más necesitadas tengan acceso a una alimentación adecuada. Sin embargo, es necesario seguir fortaleciendo estas políticas y fomentar la inclusión social y económica para garantizar que todas las personas puedan acceder a alimentos de calidad.

El tercer pilar de la seguridad alimentaria es la utilización de alimentos, que se refiere a la capacidad del organismo para absorber, asimilar y utilizar los nutrientes de los alimentos consumidos. Aunque se han logrado avances en la reducción de la desnutrición y deficiencias de nutrientes, la malnutrición por exceso, como la obesidad, ha aumentado significativamente en muchas partes del mundo. Esto ha llevado a una “doble carga de malnutrición”, pues coexisten la desnutrición y la obesidad en la misma población.

Para mejorar la utilización de alimentos, se requiere una mayor promoción de una alimentación balanceada y saludable, así como programas educativos y de concientización sobre nutrición. Es importante que las políticas públicas aborden tanto la disponibilidad como la calidad de los alimentos, fomentando la producción y distribución de alimentos nutritivos y promoviendo una cultura alimentaria saludable.

El cuarto pilar de la seguridad alimentaria es la estabilidad de alimentos, que se refiere a la capacidad de mantener el acceso a alimentos de manera constante, sin enfrentar crisis alimentarias. A pesar de los esfuerzos realizados, la seguridad alimentaria sigue siendo vulnerable a factores externos como el cambio climático, desastres naturales y conflictos

armados. Estos eventos pueden afectar la producción, distribución y acceso a los alimentos, lo que lleva a situaciones de inseguridad alimentaria.

Para abordar la estabilidad de alimentos, se han implementado políticas de gestión de riesgos y sistemas de alerta temprana para prevenir y mitigar las crisis alimentarias. También se han promovido prácticas de agricultura sostenible y sistemas de almacenamiento y distribución eficientes para reducir la vulnerabilidad ante eventos adversos.

Contexto global y regional de la seguridad alimentaria

El contexto global y regional de la seguridad alimentaria es un escenario complejo y desafiante, marcado por la persistencia y el aumento del hambre, la malnutrición y la pobreza, especialmente en el marco de la pandemia de covid-19 y sus consecuencias económicas, sociales y ambientales. Según el informe *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021*, en 2020 se estimó que alrededor de 811 millones de personas padecieron hambre, lo que representa un incremento de 118 millones con respecto a 2019 (FAO et al., 2021). Además, se proyecta que el mundo no alcanzará el objetivo de erradicar el hambre y la malnutrición para 2030, establecido en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

A nivel internacional, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ofrece apoyo a las políticas sobre el derecho a la alimentación para que los países puedan diseñar y adaptar sus estrategias nacionales de seguridad alimentaria y nutrición con especial atención a la gobernanza y a la incorporación del derecho humano a la alimentación. Unas políticas y programas bien formulados sobre seguridad alimentaria y nutricional que aborden las cuestiones fundamentales relacionadas con el derecho a la alimentación cuentan con amplio apoyo político y social y disfrutan de una implementación fluida, son más propicias para reducir el hambre y la malnutrición, erradicar la pobreza y contribuyen a poner fin a todas las formas de discriminación contra las mujeres y las niñas.

En América Latina y el Caribe, el Panorama 2022 analiza el costo de las dietas saludables y advierte que actualmente tiene el precio más alto de una dieta saludable en comparación con el resto del mundo. Como consecuencia, 131 millones de personas no pueden acceder a este tipo de dietas (FAO, 2022). El Panorama Regional 2022 entrega evidencia sobre la aplicación de políticas públicas orientadas a los productores, a los mercados y al comercio de alimentos, y al consumidor para contribuir con la asequibilidad de las dietas saludables.

Figura 1. Países con decisiones políticas para apoyar el objetivo de hambre cero



Fuente: Herramienta de análisis de decisiones sobre políticas alimentarias y agrícolas (FAPDA)

Como se aprecia en la figura 1, casi todos los países del mundo (en amarillo) se han sumado a esta causa para mejorar la calidad de vida de sus poblaciones. Por otro lado, el análisis comparativo por regiones permite identificar las diferencias y similitudes en el impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria entre diferentes áreas geográficas. Se observa que algunas regiones han logrado avances significativos en todos los pilares de la seguridad alimentaria, mientras que otras todavía enfrentan desafíos importantes.

En América Latina y el Caribe, por ejemplo, se ha registrado una mejora en la disponibilidad y accesibilidad de alimentos, gracias a políticas de desarrollo rural, inversión en agricultura sostenible y programas de protección social. Sin embargo, todavía existen altas tasas de malnutrición en algunos países de la región.

En África subsahariana, se han realizado esfuerzos para mejorar la producción agrícola y la infraestructura rural, pero la región sigue siendo vulnerable a la inseguridad alimentaria debido a factores como la pobreza extrema, los conflictos armados y la degradación del medio ambiente.

En Asia, se han implementado políticas para mejorar la producción agrícola y el acceso a alimentos, lo que ha llevado a una reducción significativa en el número de personas subalimentadas en la región. Sin embargo, la desigualdad en la distribución de alimentos sigue siendo un desafío en algunos países.

El análisis del impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria en los 193 países signatarios de los objetivos de desarrollo sostenible revela avances significativos en algunos aspectos, pero también desafíos persistentes que requieren una mayor atención y acción coordinada. Las políticas públicas han demostrado ser eficaces para mejorar la disponibilidad, accesibilidad, utilización y estabilidad de los alimentos en muchas regiones del mundo. Sin embargo, todavía existen desigualdades importantes en el acceso a alimentos entre diferentes grupos de población y regiones.

Es fundamental que los países sigan fortaleciendo sus políticas públicas en materia de seguridad alimentaria, adoptando un enfoque integral que aborde las múltiples dimensiones del problema. Esto incluye políticas de desarrollo rural y agrícola, programas de protección

social, promoción de una alimentación saludable, gestión de riesgos y sistemas de alerta temprana. Asimismo, es necesario fortalecer la colaboración entre los diferentes actores involucrados, incluyendo gobiernos, organizaciones internacionales, sociedad civil y el sector privado.

La agenda 2030 para el desarrollo sostenible proporciona un marco global para la acción en materia de seguridad alimentaria con el objetivo de alcanzar el hambre cero y garantizar el derecho a la alimentación para todas las personas. Los resultados y recomendaciones derivadas de esta investigación pueden contribuir a mejorar la efectividad e impacto de las políticas públicas en favor de la seguridad alimentaria, y así avanzar hacia un futuro más justo, equitativo y sostenible para todos.

A lo largo de las últimas dos décadas, los países signatarios de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) han tomado diversas decisiones políticas y han adoptado marcos normativos en relación con el objetivo número dos, que busca poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. Estas decisiones políticas y marcos normativos han sido fundamentales para abordar los desafíos globales en materia de seguridad alimentaria y han buscado asegurar el derecho humano a la alimentación para todas las personas. A continuación, se detallan algunas de las principales acciones emprendidas por los países desde el año 2000 hasta la fecha:

- Planes nacionales de seguridad alimentaria: Muchos países han desarrollado planes nacionales de seguridad alimentaria que establecen estrategias y acciones concretas para garantizar el acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para su población. Estos planes buscan mejorar la producción agrícola, promover el acceso equitativo a los alimentos, fortalecer los sistemas de protección social y fomentar la adopción de prácticas agrícolas sostenibles.
- Programas de protección social: Los programas de protección social han sido una herramienta clave para abordar la inseguridad alimentaria y la pobreza. Estos programas incluyen transferencias de efectivo, cupones de alimentos y programas de alimentación escolar, que buscan brindar apoyo directo a las poblaciones más vulnerables y garantizar su acceso a una alimentación adecuada.
- Políticas de desarrollo agrícola y rural: La promoción del desarrollo agrícola y rural ha sido una prioridad para muchos países, especialmente aquellos con una gran población rural dependiente de la agricultura. Estas políticas buscan mejorar la productividad agrícola, promover la adopción de prácticas sostenibles y fortalecer la infraestructura rural con el objetivo de aumentar la disponibilidad y accesibilidad de alimentos.
- Inversión en investigación y tecnología agrícola: La inversión en investigación y tecnología agrícola ha sido fundamental para mejorar la productividad y sostenibilidad del sector agrícola. Los países han invertido en la investigación de nuevas variedades de cultivos, prácticas agrícolas más eficientes y tecnologías para el manejo del agua y los recursos naturales.
- Políticas de promoción de una alimentación saludable: La promoción de una alimentación saludable ha sido una prioridad en muchos países para abordar el aumento de la obesidad y enfermedades relacionadas con la dieta. Se han implementado políticas de etiquetado de alimentos, campañas de concientización y regulaciones para limitar la publicidad de alimentos no saludables con el objetivo de mejorar la utilización de alimentos.
-

- Marco normativo para la agricultura sostenible: En el contexto del objetivo de desarrollo sostenible número dos, varios países han establecido marcos normativos para promover la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación de los recursos naturales. Estas normativas buscan proteger el medio ambiente, reducir el impacto de la agricultura en el cambio climático y garantizar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios.
- Estrategias de resiliencia ante desastres naturales y cambio climático: El cambio climático y los desastres naturales representan una amenaza significativa para la seguridad alimentaria. Por ello, los países han desarrollado estrategias de resiliencia para hacer frente a los efectos de eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones y tormentas, que pueden afectar la producción y acceso a los alimentos.
- Cooperación internacional y acuerdos regionales: La cooperación internacional y los acuerdos regionales han sido fundamentales para abordar los desafíos globales en materia de seguridad alimentaria. Los países han trabajado conjuntamente a través de organizaciones internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa Mundial de Alimentos (PMA) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), para coordinar esfuerzos y compartir mejores prácticas.

Desde el año 2000 hasta la fecha, los países signatarios de los objetivos de desarrollo sostenible han tomado importantes decisiones políticas y han adoptado marcos normativos para abordar la seguridad alimentaria y garantizar el derecho humano a la alimentación. Estas acciones han abarcado diversas áreas, desde el fortalecimiento de la producción agrícola hasta la promoción de una alimentación saludable y la protección de los recursos naturales. Sin embargo, persisten desafíos importantes, como la persistencia del hambre y la malnutrición en muchas regiones del mundo, así como la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios frente al cambio climático y eventos adversos.

La colaboración entre los países, la cooperación internacional y el compromiso político son esenciales para alcanzar el objetivo de hambre cero y lograr una seguridad alimentaria sostenible para todos. La evaluación continua de las políticas y marcos normativos adoptados permitirá identificar oportunidades de mejora y fortalecer las estrategias para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la lucha contra el hambre y la malnutrición. En este contexto, la agenda 2030 para el desarrollo sostenible proporciona un marco global para la acción y la colaboración, que busca asegurar que ninguna persona quede atrás en el acceso a una alimentación adecuada y nutritiva.

Diseño e implementación de las políticas alimentarias para la seguridad pública

El diseño e implementación de políticas alimentarias para la seguridad pública es un proceso esencial que requiere una visión integral y colaborativa entre diversos actores. Para abordar eficazmente la seguridad alimentaria, es fundamental realizar una evaluación completa de la situación, analizando el acceso a alimentos, la disponibilidad de recursos agrícolas, la malnutrición y otros factores socioeconómicos y ambientales relevantes. Estas políticas deben basarse en el reconocimiento del derecho humano a la alimentación, garantizando el acceso físico y económico a alimentos adecuados y nutritivos para todas las personas, especialmente para los grupos vulnerables.

Además, la promoción de la producción sostenible de alimentos es esencial para asegurar la seguridad alimentaria a largo plazo, impulsando prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente y protegiendo los recursos naturales. Asimismo, es crucial garantizar el acceso a mercados justos y transparentes para los agricultores y productores, promoviendo cadenas de suministro cortas y eliminando barreras comerciales que afecten a los pequeños agricultores.

La educación alimentaria es otra faceta importante, con programas para concienciar sobre una dieta equilibrada y abordar la malnutrición, incluyendo la desnutrición y la obesidad. Además, la implementación de sistemas de protección social y la promoción de la resiliencia ante desastres naturales y el cambio climático son cruciales para garantizar una alimentación adecuada en situaciones de crisis. La evaluación y monitoreo continuo de las políticas alimentarias son fundamentales para ajustarlas según sea necesario y asegurar su eficacia y efectividad en el logro de una seguridad alimentaria sostenible para todos.

Asimismo, las políticas públicas desempeñan un papel primordial en la promoción de la seguridad alimentaria, ya que a través de políticas y programas adecuadamente formulados que aborden las cuestiones fundamentales relacionadas con el derecho a la alimentación, los gobiernos pueden reducir el hambre y la malnutrición, erradicar la pobreza y contribuir a eliminar toda forma de discriminación contra las mujeres y las niñas. Dichas políticas pueden estar dirigidas tanto a los productores, mercados y comercio de alimentos como al consumidor para asegurar la disponibilidad de dietas saludables a precios asequibles.

El panorama de las políticas públicas en materia de seguridad alimentaria varía significativamente entre distintas regiones y países, evaluándose a través de indicadores que miden el avance hacia el cumplimiento del objetivo hambre cero. Estos indicadores, establecidos por organizaciones internacionales como la FAO, evalúan aspectos diversos de la seguridad alimentaria, incluyendo la disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad de los alimentos.

Los indicadores clave incluyen la prevalencia de la subalimentación, que muestra la proporción de personas que no consumen suficientes calorías para cubrir sus necesidades energéticas diarias. También es relevante medir la inseguridad alimentaria moderada y grave, que refleja la proporción de personas que enfrentan dificultades para acceder regularmente a alimentos nutritivos y suficientes. Asimismo, la malnutrición infantil es un aspecto crítico, y se mide a través de indicadores como la prevalencia del retraso del crecimiento, la emaciación y el sobrepeso en niños menores de cinco años.

Además, la proporción de tierras agrícolas bajo sistemas productivos sostenibles es un indicador importante para evaluar el progreso hacia una seguridad alimentaria a largo plazo y la preservación de los recursos naturales. La resiliencia ante eventos climáticos y desastres naturales también se considera esencial en el contexto del cambio climático, con indicadores que miden la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas y la disponibilidad de sistemas de alerta temprana.

La relación entre las políticas públicas implementadas y los resultados obtenidos en materia de seguridad alimentaria es compleja y multifacética. La efectividad de las políticas depende de diversos factores, como su pertinencia, coherencia, eficacia, eficiencia e impacto. Además, la colaboración y coordinación entre diferentes actores, como gobiernos, organizaciones internacionales, sociedad civil y el sector privado, es esencial para implementar políticas coherentes y sostenibles que promuevan la seguridad alimentaria en todos los países.

El análisis de la efectividad de las políticas públicas en seguridad alimentaria debe ser un proceso continuo y participativo que involucre a los diferentes actores y beneficiarios en la identificación de lecciones aprendidas y oportunidades de mejora. La adaptación de las políticas a las necesidades y particularidades de cada región —considerando condiciones agroecológicas, culturales y socioeconómicas— es fundamental para lograr un impacto positivo y sostenible en la seguridad alimentaria. La colaboración internacional es también clave para alcanzar el objetivo de hambre cero y garantizar el derecho humano a la alimentación para todas las personas.

DISCUSIÓN

El impacto de las políticas públicas en la seguridad alimentaria es un proceso interconectado que involucra múltiples factores y dimensiones. En primer lugar, el diseño de estas políticas desempeña un papel crucial, ya que debe considerar la diversidad de contextos socioeconómicos, políticos y culturales en los que se implementarán. Esto implica realizar análisis exhaustivos de la situación alimentaria en cada región y país, identificando las áreas de mayor vulnerabilidad y necesidad.

Además, el diseño de las políticas debe tener en cuenta la participación de los diferentes actores involucrados, incluyendo gobiernos, sociedad civil, organizaciones internacionales y el sector privado. La construcción de un enfoque colaborativo y participativo asegurará una mayor aceptación y efectividad de las medidas implementadas.

La implementación de las políticas es otra etapa fundamental para lograr un impacto significativo en la seguridad alimentaria. Es necesario contar con mecanismos adecuados para llevar a cabo las acciones planificadas, asignar recursos de manera eficiente y establecer indicadores claros para medir el progreso. La implementación exitosa requiere de una coordinación efectiva entre los diferentes niveles de gobierno, evitando duplicación de esfuerzos y asegurando que las políticas se ajusten a las necesidades específicas de cada comunidad. Asimismo, es esencial contar con sistemas de monitoreo y evaluación que permitan medir los resultados y realizar ajustes necesarios en tiempo real. El seguimiento continuo de las políticas garantizará su adaptabilidad y permitirá abordar posibles desafíos y obstáculos que puedan surgir durante la implementación.

El contexto socioeconómico, político y cultural en el que se aplican las políticas alimentarias también desempeña un rol determinante en su efectividad. Factores como la disponibilidad de recursos, la distribución de la riqueza, el acceso a servicios básicos como educación y salud, y la estabilidad política, pueden influir en la capacidad de las personas para acceder a una alimentación adecuada y nutritiva. Por lo tanto, es fundamental considerar estos factores al diseñar e implementar las políticas, buscando soluciones adaptadas a las condiciones específicas de cada lugar.

Asimismo, algunos estudios han destacado avances y buenas prácticas en materia de seguridad alimentaria que pueden servir como referencia para mejorar las políticas públicas. El reconocimiento constitucional del derecho a la alimentación en algunos países ha sido un hito importante, ya que proporciona una base legal sólida para la implementación de políticas y programas alimentarios. La creación de programas de apoyo a la producción y consumo de alimentos básicos también ha demostrado ser efectiva para mejorar el acceso a alimentos esenciales, especialmente para las poblaciones más vulnerables. Además, la participación social y comunitaria en la definición e implementación de políticas garantiza

una mayor apropiación y empoderamiento de las comunidades, lo que les permite tener un rol activo en la mejora de su propia seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

El número de decisiones de carácter político y los marcos normativos adoptados a nivel mundial con el propósito de respaldar el objetivo de erradicar el hambre —conocido como *hambre cero*— reflejan un compromiso firme tanto de los gobiernos como de la comunidad internacional. Estas medidas buscan no solo alcanzar el cese del hambre, sino también lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y fomentar la práctica de una agricultura sostenible. Estos componentes están enmarcados dentro del segundo objetivo de desarrollo sostenible de la agenda 2030.

No obstante, el impacto de dichas decisiones políticas y marcos normativos no se limita únicamente a su cantidad, sino que también depende en gran medida de su calidad, coherencia, efectiva implementación, monitoreo y evaluación. Para alcanzar resultados significativos en materia de seguridad alimentaria, es esencial que las políticas públicas se fundamenten en un enfoque de derechos humanos que reconozca el derecho a la alimentación como un derecho fundamental. Este enfoque debe incluir los principios de universalidad, progresividad, no discriminación, participación, rendición de cuentas y transparencia.

Es relevante resaltar que el impacto de las políticas públicas de seguridad alimentaria está influido por el contexto socioeconómico, político y ambiental en el cual son aplicadas. Factores como la pobreza, la desigualdad, los conflictos, el cambio climático, la volatilidad de los precios y las crisis sanitarias pueden incidir negativamente en la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones más vulnerables, lo que pone en riesgo el logro del objetivo de erradicar el hambre.

En conclusión, se puede afirmar que las políticas públicas relacionadas con la seguridad alimentaria han tenido un impacto positivo en ciertos aspectos; por ejemplo, el reconocimiento legal e institucional del derecho a la alimentación, el incremento de las inversiones en protección social y agricultura, y la mejora de algunos indicadores relacionados con la disponibilidad y el acceso a los alimentos.

No obstante, también se puede afirmar que dicho impacto ha sido insuficiente o desigual en otros aspectos, tales como la reducción efectiva del hambre y la malnutrición, la promoción de una producción y consumo sostenibles de alimentos, y la garantía de una alimentación adecuada y saludable para toda la población.

Futuras líneas de investigación

En el curso de esta investigación surgieron aspectos que resultan potencialmente interesantes para desarrollar en trabajos complementarios en el futuro, ya que su alcance supera los temas inicialmente planificados. Entre ellos, destacan el análisis detallado de las políticas de desarrollo rural y agrícola en América Latina y el Caribe; la implementación y efectividad de programas de protección social en diferentes países y su contribución a la reducción de la inseguridad alimentaria y la pobreza; las estrategias de resiliencia ante desastres naturales y cambio climático en distintas regiones, así como la colaboración internacional en materia de seguridad alimentaria.

REFERENCIAS

- González-Nolasco, J. y Cordero-Torres, J. (2011). Políticas alimentarias y derechos humanos en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53), 125-148. <https://doi.org/10.24836/es.v29i53.657>
- De Schutter, O. (2014). El derecho a la alimentación. <http://www.srfood.org/es/derecho-a-la-alimentacion>
- Gobierno de México (2022). *Seguridad alimentaria y nutricional*. <https://www.gob.mx/firco/articulos/seguridad-alimentaria-y-nutricional>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible: hambre cero*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2022) *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/americas/publicaciones-audio-video/panorama-2022/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] et al. (2020). *Conceptos básicos*. <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] et al. (2021). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas agroalimentarios para lograr dietas asequibles saludables para todos*. <https://doi.org/10.4060/cb4474es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2009). *La seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-al936s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2013). *Ley marco derecho a la alimentación, seguridad y soberanía alimentaria*. <https://www.fao.org/3/au351s/au351s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2020). *Leyes marco sobre el derecho a una alimentación adecuada*. <https://www.fao.org/3/cb0447es/CB0447ES.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (2012). *Marco normativo del derecho a la alimentación*. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5976/9.pdf>

Maker-space principio de un modelo de aprendizaje acelerado.

Maker-space principle of an accelerated learning model.

Mario Macario Ruiz Grijalva

Tecnológico Nacional de México, IT de Ciudad Juárez, México
mmruiz@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8912-2535>

Hermenegildo Lagarda Leyva

Tecnológico Nacional de México, IT de Ciudad Juárez, México
hlagarda@itcj.edu.mx - autor corresponsal
<https://orcid.org/0009-0001-5849-4109>

Jeovany Rafael Rodriguez Mejía

Tecnológico Nacional de México, IT de Ciudad Juárez, México
jrodriguez@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-4154-0778>

Jorge Adolfo Pinto Santos

Tecnológico Nacional de México, IT de Ciudad Juárez, México
jorge.ps@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9614-2764>

RESUMEN

México, al igual que muchas economías emergentes, en un contexto de gran competencia y competitividad internacional, debe fortalecer sus sistemas educativos en todos los niveles, sin embargo, limitándonos al Nivel Superior, para el Tecnológico Nacional de México (TecNM) este desafío representa un gran ámbito de oportunidad en virtud de que es el sistema que más ingenieros forma en México y América Latina con 254 Campus en todo el país y alrededor de 600,000 estudiantes, donde se atienden diferentes vocaciones: Ingeniería para la Industria, servicios, Agropecuaria, Forestal, Marítima y Acuicultura. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos del modelo de aprendizaje acelerado basado en proyectos reales, favoreciendo la vocación y práctica de los diferentes sectores, en el diseño de sus productos, sus servicios y la solución de sus problemas. La metodología utilizada es de 5 etapas donde se capacita y actualiza constantemente a docentes, que permite la incorporación de estudiantes y docentes con ingenieros y técnicos, principalmente de empresas con experiencia en nuevas tendencias, a través de proyectos reales en la práctica. Los resultados obtenidos en este ejercicio nos muestran que es un importante mecanismo de aprendizaje acelerado que impacta en la capacidad de los egresados con las competencias que requiere el entorno actual, otorgando así prestigio y credibilidad social y empresarial a la institución educativa, obteniendo así mejores oportunidades.

Palabras Clave: Aprendizaje Acelerado, Nodo de Creatividad, Solución de Problemas.

ABSTRACT

Mexico, like many emerging economies, in a context of great competition and international competitiveness, must strengthen its educational systems at all levels, however, limiting ourselves to the Higher Level, for the Tecnológico Nacional de México (TecNM) this challenge represents a great scope. of opportunity by virtue of the fact that it is the system that trains the most engineers in Mexico and Latin America with 254 Campuses throughout the country and around 600,000 students, where different vocations are served: Engineering for Industry, services, Agriculture, Forestry, Maritime and Aquaculture. The objective of this work is to present the results obtained from the accelerated learning model based on real projects, favoring the vocation and practice of the different sectors, in the design of their products, their services and the solution of their problems. The methodology used is 5 stages where teachers are constantly trained and updated, which allows the incorporation of students and teachers with engineers and technicians, mainly from companies with experience in new trends, through real projects in practice. The results obtained in this exercise show us that it is an important accelerated learning mechanism that impacts the ability of graduates with the skills required by the current environment, thus granting prestige and social and business credibility to the educational institution, thus obtaining better opportunities.

Key words: Accelerated Learning, Creativity Node, Problem Solving

INTRODUCCIÓN

La industria regional de Cd. Juárez - México, El Paso Texas y Las Cruces Nuevo México - EU, requiere de una alta competitividad ante el reto de una nueva era tecnológica y en particular de la Industria 4.0. Cortés *et al.* (2017), hacen mención que la industria 4.0, así como la fabricación inteligente son parte de la transformación, en la que la integración de las tecnologías de manufactura y de la información, han permitido la creación de procesos y sistemas innovadores en la forma de hacer negocios y en la propia gestión de la manufactura, lo que permite generar una propuesta de valor hacia los clientes, brindando una respuesta oportuna a las necesidades del mercado. Peralta-Abarca *et al.* (2020), señalan que en México uno de los retos es contar con el capital humano con las competencias en robótica e informática.

Para Carbajal (2017), el éxito de la Industria 4.0, está en el entrenamiento y la cualificación de los tecnólogos y profesionales universitarios que serán adaptados a los nuevos requerimientos de la producción digital. Para ello se describen en Carbajal (2017), tres características de la nueva educación en la Industria 4.0: a) Programación científica como el nuevo lenguaje de comunicación entre ingenieros e ingenieros; entre ingenieros y máquinas; b) desarrollo empresarial con enfoque en la innovación que facilitará la transformación de las tecnologías sobre la evolución de las tecnologías; y c) Aprendizaje analítico, donde el conocimiento de lo intangible como las señales digitales serán de obligatorio entendimiento en todos los campos del conocimiento (Friessnig, 2021).

Ante los grandes retos que plantea la era de la Inteligencia Artificial - IA, el Metaverso y la cuarta revolución industrial de diseñar, desarrollar y promover la innovación en sus productos, servicios y procesos productivos, incorporando las tecnologías emergentes existentes y colaborando en la iniciación de otras nuevas que redunden en una mayor competitividad y presencia en los mercados internacionales; En Belman-López *et al.* (2020), se menciona que los desarrollos y avances tecnológicos en la Industria 4.0 contribuirán una diversidad

viable de potenciales soluciones a la cada vez más creciente necesidad de la industria de manufactura.

Los diversos actores del desarrollo de los sectores académico, productivo y social requieren que las instituciones de educación superior formen profesionales con habilidades altamente calificadas que les permitan incorporarlas a sus procesos productivos y así mantener la competitividad que ya es común denominador en la producción de tecnologías, productos, manufacturas y servicios de nuestro tiempo. Ante este escenario, el TecNM ante las demandas de las regiones, estados, el país, las empresas y la sociedad en general, propone establecer un sistema de proyectos estratégicos reales que respondan a estos escenarios a través de Centros de Promoción de la Innovación, Investigación Aplicada, incluyendo los NCIE's al servicio de los distintos sectores estratégicos.

El ITCJ, ubicado en una de las regiones más competitivas de México y el mundo, ha desarrollado un modelo de aprendizaje acelerado basado en la conjunción de super-makerspaces, estructuras de "marketing", ventas, diseño y desarrollo materializado en proyectos que involucrar a la academia y al Sector Productivo y Social a partir de la NCIE-ITCJ que impacte en la formación profesional avanzada de nuestros estudiantes.

Por tanto, la validación del Modelo de Aprendizaje Acelerado se realizará con base en una estructura de proyectos reales que satisfagan los requisitos internos y de los sectores externos, en un plazo de tiempo límite de 12 meses, lo que implica únicamente la validación del modelo teórico-práctico. En relación con el recurso financiero, esto no sería una limitante ya que el NCIE – ITCJ cuenta con las instalaciones y equipos básicos necesarios para este fin. Este modelo permitirá reforzar, complementar y comprender su aplicación, a través de la práctica, todos los aprendizajes que el estudiante adquiere día a día en las Aulas, Talleres y Laboratorios de los diversos programas educativos, y en un mismo espacio confluirán estudiantes, docentes, investigadores, profesionales externos y empresarios, donde adquieran un aprendizaje que los lleve a comprender los procesos requeridos para el diseño, desarrollo de productos y servicios realizables en el mercado, así como soluciones a problemas reales del sector productivo y social.

Existen diferentes modelos y experiencias internacionales relacionadas con el tema del aprendizaje, en sus diferentes modalidades de colaboración industria-universidad, de igual forma se describe el nacimiento del proyecto NCIE del TecNM a partir del año 2015, describiendo la participación y observaciones de Miramontes:

Makerspace en la Universidad de Columbia en NY (2018-2020). Este concepto se definió como un departamento-empresa de esta Universidad en el cual puede ser utilizado tanto por estudiantes como por personas del exterior. Una primera iniciativa fue brindar apoyo a niños huérfanos de las calles de la ciudad de Nueva York para aprender programación y también brindar un espacio en condiciones especiales para jóvenes encarcelados de la ciudad de Nueva York principalmente para buscar educación y adquirir un oficio. basándose en tecnologías de punta en busca de su rehabilitación, cabe mencionar que esta iniciativa brindó excelentes resultados de los cuales surgieron algunos de los mejores programadores de la ciudad. El Proyecto Mariposa de Makerspaces para Juárez Chih. y El Paso TX (2018) permite crear el concepto de un súper makerspace en el NCIE-ITCJ donde se crearían réplicas de diferentes niveles en escuelas técnicas de nivel medio superior y también makerspaces equivalentes en zonas vulnerables de Cd Juárez y El Paso, TX. Donde el nodo capacitará a estudiantes de secundaria en el funcionamiento, soporte técnico y programas de estos makerspaces en estas zonas vulnerables.

Casos similares serían: El modelo sostenible para la colaboración entre la industria y la universidad” por medio de la transferencia del Watson Lab de IBM adjunto al Massachusetts Tech Campus, que permitió a los estudiantes y profesores del MIT trabajar juntos en la investigación de Inteligencia Artificial y sea más adecuado para el acceso y la disponibilidad del MIT (MIT-IBM Watson, 2017). La Colaboración de ZILOG Corporation con el Instituto Indio de Tecnología en Karnataka y el Tecnológico de Juárez, en Cd. Juárez Chih. Estas iniciativas se implementan en base a un trabajo similar que se había implementado en Redwood City California en la empresa AMPEX Corp, además de llevar a los estudiantes a colaborar y aprender de manera acelerada de ingenieros con experiencia en diseño de productos incluyendo software y bases de datos (2002). La Colaboración Empresa-Universidad en Silicon Valley (1977), donde AMPEX Corporation y la Universidad de Stanford crearon un entorno colaborativo para que los estudiantes de Stanford participen y aprendan en proyectos reales dentro de la empresa y sus procesos de Diseño y Desarrollo, así como en algunos proyectos de investigación aplicada derivados de proyectos centrales, que en Diseño y Desarrollo de Audio profesional grabadores de hasta 32 canales y videograbadores para estudios de producción, así como proyectos de Diseño y Desarrollo de Grabadores de Datos para IBM, NASA y productos como cajas negras utilizadas en aeronaves. AMPEX también inició un programa para capacitar a nuevos ingenieros de diseño transfiriendo ingenieros de su planta en Cd Juárez Chih. y egresados del Tecnológico de Cd Juárez para contribuir como asistentes en el diseño y desarrollo de nuevos productos y así formarse como ingenieros de diseño de producto. (1977). Además, brindó apoyo a emprendedores, como la incubación de ATARI, a través de la colaboración de empresas en Silicon Valley (1972). (<https://www.wired.com/story/inside-story-of-pong-excerpt/>).

En general, las Universidades de Corea del Sur son pioneras en diferentes programas de contribución con las industrias de ese país. Singapur ha aumentado recientemente este tipo de colaboración principalmente en la Universidad Nacional de Singapur con su programa de cultura Maker con proyectos en colaboración con India de secadores solares, o el caso del programa InnoVenture Technopreneurship and Incubation (TIP) y la Universidad Tecnológica de Nayang con el programa InsPIRE Institute for Pedagogical Innovation, Research and Excellence. Los resultados de estas colaboraciones han dado como resultado productos que se han encontrado en los mercados globales.

La iniciativa NCIE-ITCJ nace como un proyecto estratégico del TecNM en 2015, para dar respuesta a las demandas del sector productivo y social del país. Previamente, un equipo directivo y académico del TecNM efectuó una visita a Singularity University of Silicon Valley y Stanford University observando las mejores prácticas de cooperación universidad-industria. Este proyecto nacional comienza impulsando la creación de 6 Centros de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico para dar servicio a las siguientes áreas estratégicas: Automoción, Aeroespacial, Agroalimentación, Energía, Fabricación Avanzada y TIC. De la misma manera, se apoya la creación de 12 Nodos de Creatividad, Innovación Tecnológica y Emprendimiento en diversos Institutos Tecnológicos, para impulsar las tecnologías emergentes que demanda la Industria 4.0, estos Centros y Nodos se ubicaron en diversas Regiones del País.

Cada uno de estos Centros y Nodos tienen como finalidad dar respuesta a las demandas planteadas por cada región, por lo que en este contexto, en el caso del NCIE-ITCJ, se establecieron Reuniones entre el Equipo Directivo quienes desde su Comité de Vinculación realizó un trabajo coordinado con el Consejo de Vinculación del ITCJ conformado por ejemplares egresados y empresarios de las PYMES, Industria Maquiladora de Exportación,

Maquila Suroccidente, representantes de los tres niveles de gobierno y sociedad, considerando que reforzar la formación profesional de nuestros estudiantes y el fortalecimiento del cuerpo docente en las nuevas tendencias tecnológicas académicas y desarrollar un vínculo más efectivo con el sector productivo y social, el Nodo debe ofrecer un plus de innovación tecnológica incorporando tecnologías emergentes en el diseño y desarrollo de proyectos, con base en este desafío, se planteó la Misión y Visión de NCIE y se revisaron y presentaron los precedentes internacionales de Vinculación Industria-Academia efectiva descritos anteriormente, estableciendo un modelo aún más innovador y realista, basado en un Super Makerspace que motivaría el inicio de un aprendizaje acelerado basado en proyectos reales. para la solución de problemas, donde participarán Estudiantes, Profesores, Investigadores, Ingenieros y técnicos de la empresa (TecNM - ITLM, 2016).

DESARROLLO

Los seres humanos responden y aprenden mejor según el ambiente de aprendizaje que más les estimule; es decir, cómo prefieren aprender y cómo les resulta más fácil, por eso es importante fundamentar los conceptos de aprendizaje, estilos de aprendizaje y metodologías que a su vez permitan el desarrollo de aprendizajes diversos, en este caso por la naturaleza de este proyecto. En nuestra investigación nos limitamos a metodologías de aprendizaje acelerado y aprendizaje basado en la exposición de proyectos reales, en este caso enfocados a estudiantes del TecNM para prepararlos para los desafíos de la ingeniería y satisfacer prácticamente todas las necesidades de la actividad humana. Con base en este enfoque y como base para este proyecto, se presentan los siguientes conceptos y recomendaciones.

El aprendizaje es “proceso subjetivo de captar, incorporar, retener y utilizar la información que recibe el individuo en su continuo intercambio con él (Grasso, 2019). Jean Piaget propone que para el aprendizaje es necesario un desfase óptimo entre los esquemas que ya posee el alumno y los nuevos conocimientos que se propone. Los estilos de aprendizaje son una mezcla de factores cognitivos, afectivos y fisiológicos que sirven como indicadores de cómo el estudiante percibe, interactúa y responde al ambiente de aprendizaje (Alonso et al., 1995), en su libro “Estilos de aprendizaje, procedimiento y mejoramiento” mencionan que los estilos de aprendizaje definen la forma preferida de aprender de cada individuo: esto es fundamental tanto para los aprendices como para los docentes, los autores afirman que existen cuatro estilos de aprendizaje: 1) activo, 2) reflexivo, 3) teórico y 4) pragmático .

Según Gardner (2016), las inteligencias del individuo están estructuradas por ocho tipos que son: lógico - matemático, interpersonal, intrapersonal, visual - espacial, musical, verbal - lingüístico y corporal - kinestésico y naturalista desarrollando una habilidad para integrar y combinar las diferentes inteligencias enfocadas y desarrolladas en la resolución de problemas. En su teoría, Gardner habla y fundamenta las capacidades y diversas inteligencias que posee el ser humano, reconociendo los talentos y habilidades que posee y que le permiten resolver diversos problemas y triunfar en el mundo real. Para Gardner, las personas poseen en mayor o menor grado las ocho inteligencias mencionadas anteriormente. Al igual que con los estilos de aprendizaje, no hay tipos puros, y si los hubiera, sería imposible que funcionaran. Habla de que todas las inteligencias son importantes y que los sistemas escolares actuales no solo deben enfocar y priorizar la inteligencia lógico-matemática y la inteligencia lingüística, sino que deben considerar las diversas inteligencias que posee el estudiante y deben ser fomentadas por los docentes en el proceso de enseñanza y aprendizaje. y poniéndolas en práctica. Del mismo modo, destaca que la combinación de dife-

rentes inteligencias ayuda a hacer una buena elección para el futuro profesional. Además de fomentar y ejercitar la creatividad desde plataformas superiores que estaban disponibles antes del aprendizaje.

El aprendizaje acelerado es una teoría que surgió a mediados de los años sesenta y fue propuesta por el psicólogo de origen búlgaro Georgi Lozanov. La tesis de Lozanov sostiene que es necesario actualizar el sistema de pedagogía tradicional, incorporando dentro de él una serie de estímulos cognitivos para que los estudiantes reciban una adecuada estimulación neuronal y así contribuir a la aceleración del aprendizaje. Es un método basado en técnicas de enseñanza que permite estimular todas las partes que componen el cerebro, enfocándose en el uso eficiente de los estímulos cognitivos, agilizando y desarrollando aún más el sentido intuitivo en el proceso de recepción y almacenamiento de información. Esta teoría pedagógica sostiene que en un ambiente educativo bien acondicionado y reforzado con estímulos sensoriales positivos se produce una aceleración del aprendizaje, que permite a los estudiantes alcanzar su verdadero potencial intelectual y académico (Espinoza, 2021). Linda Kazuga (1999), analiza cómo el conocimiento acelerado ha revolucionado las ciencias y las tareas del conocimiento en los últimos años, a tal punto que es fundamental aceptar que el espacio en el que vivimos es el futuro, porque el presente pertenece más al pasado, a lo que rápidamente se convierte en el entonces. También habla de las diversas capacidades del cerebro humano, estas necesitan ser estimuladas, dinamizadas y relanzadas una y otra vez, sucesiva y permanentemente, con el conocimiento y aprendizaje de nuevas técnicas y procesos prácticos que puedan ser aplicados en el aula, trabajo y en casa. Por ello, es importante la formación, el reciclaje y el aprendizaje continuo, lo que permitirá un mayor bienestar y potenciará la producción y competitividad del sector productivo y social. Propone el uso de técnicas y estrategias para el aprendizaje rápido y fácil, de estudiantes, trabajadores y familias al adquirir nuevos conocimientos con una perspectiva de mejora continua. Lo cual la sustenta desde los variados estilos y modos de aprender y las diversas capacidades y habilidades del ser humano (Nadelson (2021).

El modelo de aprendizaje acelerado permite potenciar el aprendizaje en aulas, talleres y laboratorios a partir de técnicas o estrategias de este aprendizaje. Los mismos que se pueden utilizar a lo largo de la vida ya que son adaptables a la construcción individual o colaborativa del conocimiento, independientemente de la edad de los alumnos. Este modelo sigue un enfoque multisensorial y multimodal utilizando las diversas inteligencias para que puedan acceder al conocimiento, así mismo también utiliza las emociones y la reflexión para lograr el aprendizaje (Schettini, 2019), en este contexto, el Aprendizaje basado en proyectos reales (ABPR), es una metodología activa basada en estructuras probadas de proyectos de enseñanza-aprendizaje en los que los estudiantes son los protagonistas de su propio aprendizaje bajo la estructura de un proyecto, donde eligen las actividades que apelan a su vocación, su curiosidad y sus capacidades. Un proyecto real puede ser la estructura para diseñar, desarrollar un producto o un servicio y/o resolver problemas a través del trabajo en equipo, bajo la estructura asignada del proyecto en condiciones reales.

Los proyectos reales pueden ser formales, informales, externos e internos, o simplemente para la práctica de inducción. Alumnos y profesores se asignan a fases, secciones y tareas en función de la vocación y curiosidad de las personas. La estructura del proyecto puede tener fases de: Factibilidad, Diseño, Investigación aplicada, Desarrollo, Fabricación y Comercialización entre otras que pueden ser definidas bajo los requerimientos particulares de cada proyecto incluyendo la actividad financiera o cuando el proyecto es parte de un programa completo (o como una empresa dentro de otra empresa). Partiendo de estas

teorías, los estilos de aprendizaje podrían indicar las diferentes formas en que las personas aprenden, dependiendo de sus inteligencias, teniendo en cuenta aquellas inteligencias en las que se destacan más y menos, estas se basan en la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner. Aunque anteriormente se mencionan dos factores clave para un aprendizaje sólido (la vocación y la curiosidad). La vocación ubica a la persona y le permite definir su “Visión” en la vida como referencia a la dirección que inicialmente define la suya o sus prioridades de aprendizaje, aunque haya que hacerlo por eliminación. La curiosidad es la que nos permite adentrarnos en lo desconocido (con la intención de conocer) y la que nos empuja a un continuo aprendizaje acelerado ya que tras abrir una ventana de lo aprendido surgen algunas más, pero la vocación nos mantiene en el camino de la crítica personal y/o nos acerca a nuestra “Visión”.

Ahora, a partir del estudio de diversos tipos de metodologías de aprendizaje, que se han desarrollado e implementado, para el aprendizaje acelerado en todo el mundo en instituciones de educación técnica superior en proyectos que van desde el diseño de productos, la investigación en áreas complejas como la inteligencia artificial hasta la fabricación e implementación de productos. derivado de estas tecnologías, se ha propuesto en el NCIE y la red de nodos TecNM ir más allá de las implementaciones de otros países y sus empresas, para un mejor funcionamiento hoy en día en México. El concepto incluye el uso de un super-makerspace que soporte las principales tecnologías y su función sería captar la atención de estudiantes y docentes en función de su vocación, es decir inicialmente es la identificación de la vocación. Los proyectos de Makerspace son informales pero reales y brindan un primer nivel de aprendizaje acelerado o también pueden considerarse como capacitación para nuevos reclutas. El NODO en general y el makerspace en particular también formarán parte de los espacios para proyectos formales reales internos y externos. Para la ejecución de proyectos reales, se ha definido que las metodologías de aprendizaje acelerado y aprendizaje basado en proyectos serían las que, por la naturaleza de este proyecto de investigación, se implementarán, para la validación de este modelo de aprendizaje acelerado, basado en sobre proyectos reales para el diseño de productos y servicios y la solución de problemas del sector productivo y social, basados en la NCIE-ITCJ”.

El Aprendizaje Acelerado Basado en Proyectos de Innovación - A²BPI es una metodología innovadora para la apropiación del conocimiento por parte del estudiante sujeto a los problemas que redunden en la solución de su proyecto. Además, forma personas capaces de interpretar los fenómenos que ocurren a su alrededor, fomenta la creatividad, la responsabilidad individual y colectiva, el trabajo colaborativo, la capacidad crítica, la toma de decisiones y la facilidad de expresar sus opiniones. El aprendizaje basado en proyectos tradicional es una metodología que se desarrolla de manera colaborativa que enfrenta a los estudiantes a situaciones que los lleven a plantear propuestas ante determinada problemática y es considerada como la base de la metodología propuesta A²BPI pero con la variante singular de acelerar el aprendizaje al exponer al estudiante al proyecto en forma directa por un tiempo corto. El proyecto considera actividades vinculadas entre sí, para generar productos o soluciones capaces de resolver la problemática y satisfacer las necesidades del proyecto, considerando los recursos y el tiempo asignado.

El A²BPI se implementará en el NCIE en donde el estudiante, e integrante de este organismo se establece como protagonista de su propio aprendizaje al mismo nivel que el desarrollo de habilidades, actitudes éticas, de colaboración y de convivencia bajo los requerimientos y estructura de los proyectos a los que sean asignados. Es una estrategia que será utilizada para la adquisición de los conocimientos técnicos y prácticos de un área en especial, en la

cual al estudiante se le asigne un proyecto que deberá desarrollar, siendo el mismo proyecto el que dirija los nuevos aprendizajes técnicos necesarios. Adicionalmente a esto el integrante del NCIE domina el proceso de documentación vinculada a su proyecto ya que la misma metodología le proporciona la pauta para el desarrollo de la documentación.

Se consideran tres etapas, donde se estará aplicando el modelo aprendizaje acelerado basado en proyectos reales para la solución de problemas, siendo las siguientes:

- **Solución de proyectos nivel 1 tipo Makerspace.**

Esta es la primera etapa para el desarrollo de proyectos orientado a la solución de problemas de base tecnológica. Es la fase de iniciación del proyecto en donde el cliente convive con el equipo de trabajo que desarrollara la solución y en forma conjunta se establecen los requerimientos y especificaciones del proyecto.

Existen criterios para identificar el tipo de proyecto: puede ser proyecto interno o también conocido como base de conocimiento y el proyecto externo o vinculado con la industria. Estos dos tipos de proyectos buscan vincular alumnos de licenciatura, de posgrado, gestores tecnológicos y a ingenieros de la industria.

Particularmente los proyectos que se desarrollan en esta etapa incluyen la conceptualización de producto, el diseño de producto, el desarrollo de prototipos y la fase de validación. La mayoría de los proyectos integran hardware, software y firmware de tecnología emergente.

- **Integración de proyectos formales con la industrial.**

En esta etapa los proyectos externos o vinculados con la industria pasan a la validación final para la entrega del diseño a detalle del producto. Es la última fase donde se puede optimizar el producto en desarrollo y todo esto dependerá de los mecanismos de validación del producto en condiciones reales de operación en la industria y bajo los estándares especificados por la industria.

En esta etapa también se definen los aspectos de innovación que deberán reportarse y en el caso de ser necesario se establecen los mecanismos para el registro de propiedad intelectual.

Además, se definen los tiempos de desarrollo de producto a bajo volumen, condiciones de prueba y se desarrollan los manuales operación, así como el análisis a modo de fallas para entregarse como complemento del proyecto externo o vinculado con la industria.

Marketing y comercialización nacional e internacional.

En esta etapa es en donde se integran formalmente las funciones de venta del desarrollo tecnológico y mercadotecnia, con representantes institucionales y socios estratégicos nacionales e internacionales. Se definen las entidades de Nodo Academia y Nodo Empresa.

Esto para formar una estructura que permita al nodo ser autosuficiente y autosustentable, además permitirá establecer los mecanismos para el registro de propiedad intelectual y la transferencia de tecnología entre las entidades correspondientes.

RESULTADOS

En este trabajo, se consideran las fases de la etapa I: Solución de proyectos modelo nivel 1 Makerspace:

Esta primera etapa del modelo de aprendizaje acelerado se divide en 5 fases que se describen a continuación:

- Fase 1.- Identificación del problema, particularmente se establecen los requerimientos del proyecto y se realiza el proceso de conceptualización.
- Fase 2.- Investigación de la problemática y la potencial solución, el estudiante realiza la investigación sobre el problema que genera su proyecto para configurar una posible alternativa de solución del problema.
- Fase 3.- Diseño e integración de solución, el estudiante e integrante del NCIE realiza el diseño de ingeniería de su proyecto y prototipos.
- Fase 4.- Validación de solución es en donde su prototipo se expone a las pruebas para establecer si cumple con los requerimientos.
- Fase 5.- Lanzamiento es en donde el estudiante expone su proyecto con la solución que cubre los requerimientos y en esta se expone el costo del proyecto, posible innovación y de la solución.

La etapa 1 se orienta al diseño y desarrollo de proyectos de base tecnología y conocimiento de tecnologías emergentes, que pueden considerarse de dos tipos esencialmente proyectos internos o de base de conocimiento y proyectos externos o vinculados con la industria.

La importancia del proceso metodológico en el diseño y desarrollo de proyectos de base tecnológica requiere de un proceso en donde se identifique el problema, se investigue la problemática y la potencial solución, se realice el diseño y la integración de la solución, la validación y el lanzamiento del proyecto. Además, a la par se realice la documentación necesaria para evaluar el potencial de innovación y el registro de propiedad intelectual de todo producto de base tecnológica.

Como resultado se tiene la siguiente matriz que potencia el desarrollo de talento y establece los criterios para definir los proyectos de la etapa 1, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Matriz de proyectos de etapa 1 Makerspace.

Tipo de Proyectos	Producto/Servicio/Innovación	Orientado a	Definición
Internos 	Investigación del estado del arte , orientado a los vectores de tecnología, innovación y creatividad.	Desarrollar habilidades y generar conocimiento , además de productos académicos	Desarrollo de las metodologías de diseño , estudio de factibilidad, métricas de madurez y evaluación continua. Metodología arcadia e ingeniería de sistemas .
Externos 	Solución de necesidades y/o problemas reales del sector productivo y social.	Brindar soluciones de alto impacto basadas en tecnologías emergentes, vender	Metodologías de diseño, NDA, plan de trabajo, cotización , equipo de trabajo, registro en la plataforma digital. Acompañamiento en el desarrollo de la propiedad intelectual .
Convocatoria 	Convocatorias de Gobierno y Sociedad	Competir por apoyos , desarrollar micro laboratorios, satisfacer necesidades de proyectos	Equipo de investigadores y estudiantes, cualquiera que sea la convocatoria

Fuente: elaboración propia.

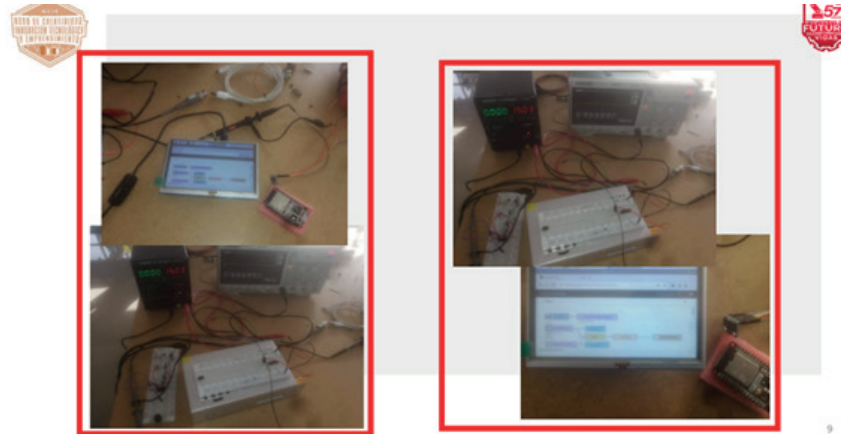
Algunos de los resultados obtenidos en base a desarrollo de productos de base tecnológica se orientan a sistemas y dispositivos de internet de las cosas como se observa en la Figura 2, y proyectos de validación de la industria manufacturera orientada a la tecnología de montaje superficial, como se observa en la Figura 3.

Figura 2. Dispositivos IoT y SMT.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Dispositivos IoT, interfaces de desarrollo.



Fuente: elaboración propia.

Dentro de las fases de la etapa 1, se encuentra el proceso de validación en donde el producto o dispositivo desarrollado debe exponerse a pruebas técnicas para lograr cumplir con los requerimientos y especificaciones declaradas en la fase 1 de la misma etapa de desarrollo, como se observa en la Figura 4.

Figura 4. Validación técnica de dispositivos IoT y SMT.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los resultados obtenidos al aplicar la metodología A²BPI fueron el programa de desarrollo de talento Industria-ITCJ, en donde se aplican los pasos de la metodología encaminados a solución de problemas internos de la industria, como se observa en la Figura 5. Adicionalmente se formó un modelo CANVAS que establece el funcionamiento del Nodo ITCJ y la aplicación de la metodología A²BPI, como se observa en la Figura 6.

Figura 5. Programa Desarrollo de Talento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Modelo CANVAS aplicando A²BPI.

NCIE MODELO CANVAS		Diseñado para	Diseñado por	Fecha	Version	
		NCIE	Dr. Jeovany Rodríguez	25/11/2022	1.0	
Socios clave Socio clave: Industria Manufacturera Local, principalmente PyME's. Proveedor clave: Industria Americana y Asiática. Recursos: Componentes electrónicos, máquinas, electroherramientas y materiales. Actividad de socio: Mantenimiento e integraciones de la industria automotriz, médica y electrónica. Motivación: Reducción de riesgo e incertidumbre en prototipos. Adquisición de recursos y actividades profesionales.	Actividades clave Actividades clave: Diseño y desarrollo de productos tecnológicos y dispositivos. Canales de distribución: Directa con el cliente. CATEGORIAS: Diseño y desarrollo de prototipos, resolución de problemas, sistemas embebidos. Recursos clave Recursos clave: Componentes electrónicos y materiales. Software y Hardware. TIPOS DE RECURSOS: Flujos, estructuras (patentes de marca, derechos de autor, datos).	Propuestas de valor Valor ofrecido: Diseño y desarrollo personalizado. Problemas resueltos: Validación y diseño a detalle de productos tecnológicos. Conjunto de productos: Diseño, desarrollo y validación de prototipos de productos tecnológicos (IoT, IA, D). Validación de productos nuevos bajo análisis de prototipos. Características: Novedad, rendimiento, personalización, reducción de costos, reducción de riesgo, accesibilidad.	Relación con clientes Tipo de relación: Directa, personalizada y protegida con NDA. Relación bajo esquemas de proyectos. Relación como socio estratégico. Canales Canales de relación: Directa en planta. Directa bajo visita al NCIE. A través de socios estratégicos.	Segmentos de clientes Para quien se crea valor: Industria manufacturera. PyME's e integradores. Nicho de Mercado: Desarrollo de tecnología para la industria 4.0. Desarrollo de productos orientados a soluciones en la industria 4.0 Diseño, desarrollo y lanzamiento de productos tecnológicos aplicables a la industria 4.0.	Estructura de costos Costos más importantes: Procesos de manufactura, componentes y materiales. Recursos clave caros: Gestores tecnológicos e Ingenieros. Actividades caras: NRE y procesos de validación. ES SU NEGOCIO MÁS: Value Driven el cual es enfocado en la creación de valor, y propuesta de valor premium. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA: Costos fijos y costos variables.	Fuente de ingresos Valor dispuesto a pagar: NRE y validación de prototipos. Para que pagan: Diseño, desarrollo y validación de propuestas de valor. Como pagan: Cuentas en uno o dos pagos según producto. Cuanto contribuye: Contribuye en el proceso de reinversión de capital. Tipos: Venta de activos, tarifa de NRE, tarifas de validación. Precios fijo: Depende de las características del producto y del volumen. Precios dinámicos: negociación y gestión del rendimiento.

Fuente: elaboración propia.

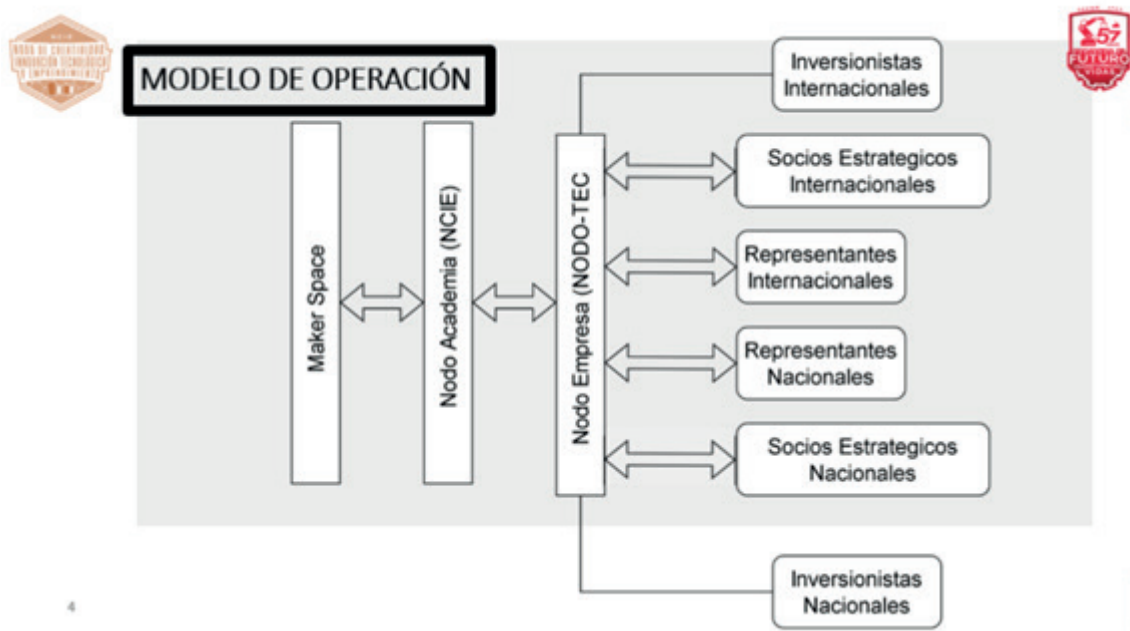
Actualmente los proyectos vinculados están enfocados a cuatro líneas de generación de conocimiento, impresión 3D, manufactura avanzada, internet de las cosas e inteligencia artificial, como se observa en la Figura 7. Mismo que lleva al desarrollo del modelo de operación entre Nodo Academia y Nodo Empresa, como se observa en la Figura 8.

Figura 7. Proyectos vinculados aplicando A²BPI.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Modelo de operación aplicando A²BPI.



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sin duda los resultados que se presentan en este trabajo documental son de gran relevancia ya que contribuyen en la calidad y pertinencia de los diversos programas educativos de licenciatura y posgrado del ITCJ al incorporar en la currícula y en los proyectos desarrollados principalmente estas nuevas tendencias de tecnologías emergentes, de igual forma fortalecerá la vinculación con el sector productivo y social al atender y solucionar problemas reales que plantean los diversos actores del desarrollo.

Así mismo, en este trabajo se propone la creación de una red de NCIE para el TecNM usando una estructura para proyectos reales de aprendizaje acelerado y satisfacer las necesidades de proveer conocimiento para alumnos y maestros de la aplicación de tecnologías tradicionales y emergentes.

CONCLUSIONES

En relación a las metas planteadas en este proyecto se mencionan a continuación:

Fortalecer la formación académica a estudiantes de licenciatura al incorporar tecnologías emergentes en los proyectos que estarán desarrollando, así mismo se les considerará curricularmente como créditos complementarios. Se incorporan estudiantes de licenciatura de las distintas carreras al proyecto de servicio social en diversas actividades del proyecto.

Este modelo, en referencia al alcance, se considera que tiene un impacto académico ya que contribuye en los procesos de acreditación de carreras, en el fortalecimiento del profesorado al contar con una mejor capacitación de forma continua mediante los cursos, talleres y diplomados en estas tecnologías e impulsándolos a estudios de maestría y doctorado en relación a esta temática, por supuesto que esto contribuye a la obtención del perfil deseable, e ingreso al sistema nacional de investigadores del profesorado y a mantener en el SNP de calidad a los programas de posgrado..

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es resultado del trabajo de investigación del Programa del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería que oferta el Tecnológico Nacional de México, del apoyo en Becas a través de los distintos programas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología. Mario Macario Ruiz Grijalva beneficiario de Becas Nacionales (2022) en el Doctorado; Jeovany Rafael Rodríguez Mejía beneficiario de Estancia Posdoctoral por México (2022) de CONAHCYT. Así mismo un agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por el apoyo recibido para la realización de este artículo: Jorge Adolfo Pinto Santos quien es director de proyecto apoyado en la Convocatoria “Proyectos de Investigación Científica, desarrollo Tecnológico e Innovación 2023”.

Un agradecimiento especial al Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga por su desinteresado apoyo en la elaboración y revisión de este artículo. El Dr. Poblano es beneficiario de Estancia Posdoctoral por México (2022) por CONAHCYT.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, C. M.; Gallego, D. J.; Honey, P. (1995). Los estilos de aprendizaje. Procedimientos de diagnóstico y mejora (6° ed.). Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Belman-López, C. E., Jiménez-García, J. A., & Hernández-González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 432-447.
- Carbajal, Roja Jaime Humberto (2017). La cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe. Universidad Antonio Nariño, Colombia.
- Cortés, C. B. Y., Landeta, J. M. I., Chacón, J. G. B., Pereyra, F. A., & Osorio, M. L. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia tecnológica*, (54).
- Espinoza, R. O. (2021). Makerspaces: indicadores cuantitativos e implicaciones para la innovación, la educación y el emprendimiento. *Entreciencias: Diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9(23), 1-18.
- Friessnig, M. (2021). The Role of Makerspaces in Product Development of Hardware Start-Ups. *IJAMM*, 1(1). <https://doi.org/10.21428/70cb44c5.16766841>
- Gardner, H. (2016). Estructuras de la mente: la teoría de las inteligencias múltiples. Fondo de cultura económica.
- Grasso Imig, P. (2019). Estrategias de aprendizaje de aprendizaje: recorrido conceptual / Learning strategies: conceptual journey. *Revista de Educación*, 0(17), 158-187. Recuperado de http://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/r_educ/article/view/3242/3378
- Kasuga, L., Gutiérrez, C. y Muñoz, J. (1999). Aprendizaje Acelerado. Estrategias para la potencialización del Aprendizaje. - 2ª. Edición. -Grupo Editorial Tomo, S. A. de C. V.- México.
- Louis S. Nadelson (2021) Makerspaces for rethinking teaching and learning in K–12 education: Introduction to research on makerspaces in K–12 education special issue, *The Journal of Educational Research*, 114:2, 105-107, DOI: 10.1080/00220671.2021.1914937
- Peralta-Abarca, J., Martínez-Bahena, B., & Enríquez-Urbano, J. (2020). Industria 4.0. *Inventio*, 16(39), 1-7.
- Schettini, H. M. (2019). Técnicas del aprendizaje acelerado en la enseñanza de las estadísticas. *Polo del Conocimiento*, 119-130.

Modelación bayesiana para la remanufacturación y reutilización de recursos en una línea de productos de impresión

*Bayesian modeling for the remanufacturing of resources
in a line of printing products*

Luz Isaura Rodríguez Aguilar

México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
Luz_rodriguez10@yahoo.com.mx
<https://orcid.org/0009-0001-9515-6993>

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
manuel.rm1@cdjuarez.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8922-4718>

Ericka Berenice Herrera Ríos

México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
ericka.hr@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6964-5830>

RESUMEN

En la actualidad, la industria no solo se ha enfocado en construir productos nuevos, sino también remanufacturados debido a que estos ofrecen la misma calidad, pero a un menor costo. En la remanufactura, la materia prima son productos que cumplieron con un ciclo de vida, de ahí que exista una gran variabilidad en los productos de retorno. En la planta donde se desarrolló la parte aplicada de esta investigación, la variabilidad generaba una gran incertidumbre en el proceso de remanufactura debido a que no se podía determinar la calidad y cantidad de los materiales que se recibirían y no era posible saber qué porcentaje podría ser utilizado en la planta de remanufactura; así, la programación de su producción se generaba a partir de un pronóstico con datos históricos que permitían solicitar los materiales a la planta de desensamble. Al inicio de la investigación no se contaba con un modelo que permitiera conocer el impacto de las variables en los procesos de remanufactura. Tampoco existía un método de selección de proveedores y categorización de materiales, por lo que se incrementaban los costos de adquisición, calidad, disposición, pruebas, desmontaje y remanufactura. Por ello, el principal objetivo de este trabajo ha sido la elaboración de un modelo para la remanufactura y reutilización de recursos con el fin de reducir costos siguiendo la metodología bayesiana.

Palabras clave: metodología bayesiana, recuperación, selección.

SUMMARY

Given that currently the industry is not only focused on building new items or products, but they are also including the option of remanufactured products in their catalogue. The reason they offer these products is because remanufactured products offer the same quality as a new product, but at a lower cost. In remanufacturing, the raw materials are products that have completed a life cycle, which is why there is great variability in return products. In the plant where the applied part of this research was carried out, the variability generated great

uncertainty in the remanufacturing process because the quality and quantity of the materials that would be received could not be determined and it was not possible to know what percentage of the total amount that could be used in the remanufacturing plant; the programming of its production was generated from a forecast with historical data and based on this, the materials were requested from the disassembly plant. At the beginning of the investigation, there was no model that would allow knowing the impact of the variables in the remanufacturing processes. Nor was there a method for selecting suppliers and categorizing materials, which increased the costs of acquisition, quality, disposal, testing, disassembly, and remanufacturing. The main objective of this work has been the elaboration of a model for the remanufacturing and reuse of resources that would allow the reduction of costs following the Bayesian methodology.

Keywords: Bayesian Methodology, Recover, Selection

INTRODUCCIÓN

Una de las opciones con la que es posible recuperar o crear valor a los productos que ya cumplieron con un ciclo de vida útil es la remanufactura (Rogers *et al.*, 2012), proceso que permite regresar un producto usado a un estado funcional nuevo. En el proceso de remanufactura se recupera una proporción sustancial del recurso incorporado al producto durante su primera manufacturación (Ijomah *et al.* 2004). Lund (1984) define la remanufactura como la restauración de los productos usados a condiciones perfectas, pues se les proporciona las características de rendimiento y durabilidad del producto original.

De acuerdo con Dowlatshahi (2000), la remanufactura o el reciclado es el corazón de la logística inversa. Según la investigación desarrollada por este autor, la logística inversa es practicada por muchas industrias, incluyendo aquellas que producen acero, aviones comerciales, computadoras, automóviles, químicos, electrodomésticos y dispositivos médicos. Algunas de las compañías que han practicado la logística inversa son BMW®, Delphi®, DuPont®, General Motors®, Hewlett Packard®, Storage Tek® y TRW®. Un ejemplo de remanufactura proporcionado por Cruz (2011) es el siguiente:

Cuando necesita una pieza automotriz, se visita la tienda de autopartes y se presentan dos opciones, comprar la pieza nueva, o comprarla remanufacturada a un porcentaje menor del costo, a veces con garantías similares. Por sentido común la mayoría de las personas se decidirá por el alternador remanufacturado ya que ofrece una garantía de por vida al igual que si se comprara nuevo.

Hay un rubro que es la cantidad que el vendedor descuenta cuando, en la compra, se entrega a cambio la pieza usada. Algo que ya no es útil para el comprador, le trae un descuento. El vendedor recolecta todo el material y lo envía al centro de remanufactura, que para este caso estará ubicado en la frontera de México.

Todo el material usado es importado temporalmente aprovechando los beneficios de la Industria Manufacturera Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) (temporalidad de 36 a 60 meses) régimen IN (Importación Temporal), una vez en México el producto usado entra a un proceso de desensamble en el que se recuperan las piezas en buen estado, este proceso es llamado salvamento de piezas, las cuales una vez recuperadas, se mandan a procesos de lavado y purificación.

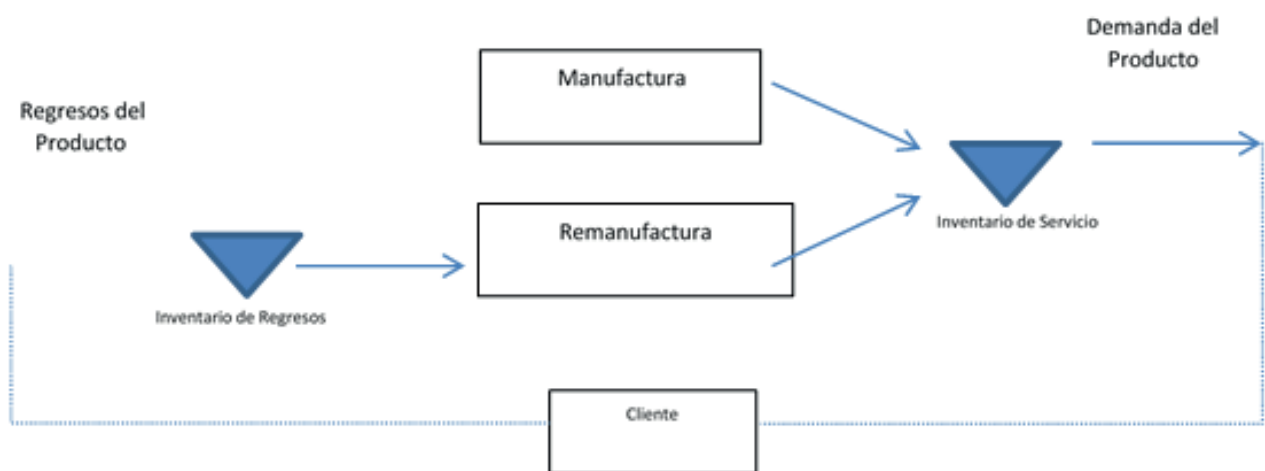
Posteriormente, se lleva a cabo el ensamblado del producto, para eso se integran las partes recuperadas en el proceso de salvamento y las partes faltantes se integran de partes nuevas. Una vez remanufacturado el producto se procede al empaquetado y exportación mediante el Régimen RT (Retorno después de proceso) (p.4)

El escenario anterior es muy común en las operaciones de remanufactura, y al mismo tiempo es una de las escenas más retadoras, ya que un solo producto se puede convertir en muchos números de parte durante el proceso de remanufactura; por esta razón, el control y la planeación de las operaciones de remanufactura se vuelven más complicados.

Además, el factor monetario es muy importante en el diseño de los procesos de remanufactura. Quoc *et al.* (2012) buscan optimizar los costos de logística inversa para el reciclado de productos eléctricos y electrónicos al final de su vida útil. Para ello, proponen que estos desperdicios, al final de su ciclo de vida, sean apropiadamente manejados, procesados, desechados y, si es aplicable, remanufacturados, reciclados y reusados. Sobre los factores monetarios considerados en el modelo, los autores mencionan los costos de recolección, tratamiento y transportación, así como los ingresos de ventas con diferentes fracciones de los productos devueltos.

El objetivo de la recuperación del producto es recuperar la mayor parte del valor económico y ecológico, y disminuir las cantidades finales de residuos (Thierry *et al.*, 1995). Teutner *et al.* (2006) describen el proceso de remanufactura como se muestra en la figura 1.

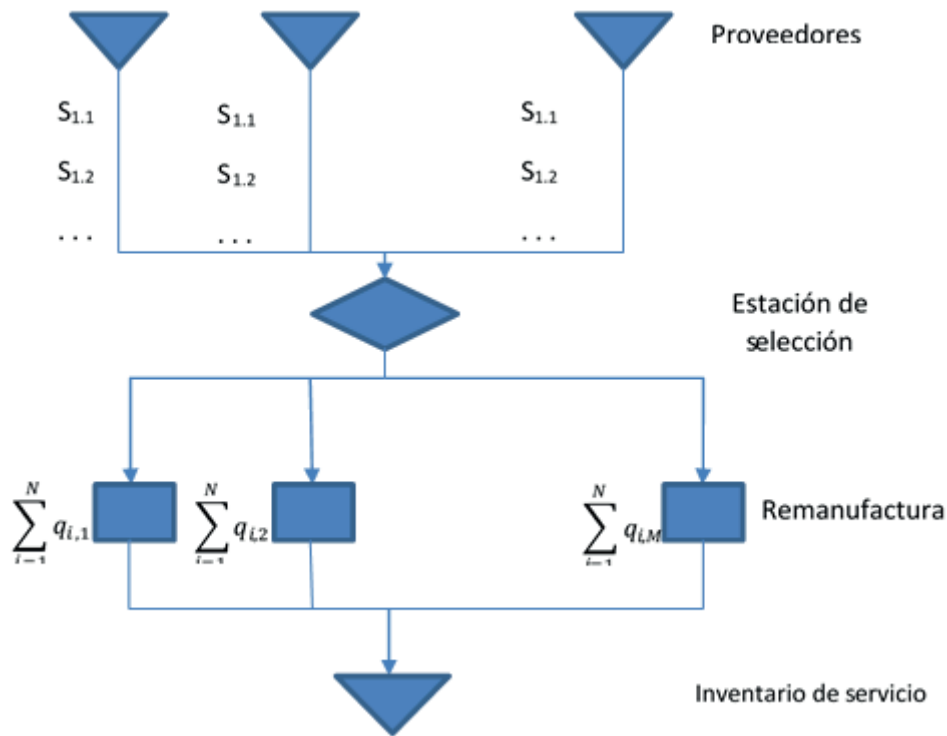
Figura 1. Sistema de inventario con remanufactura



Fuente: Elaboración propia

La administración de la recuperación del producto se centra en la recolección de los productos usados y descartados, y la búsqueda de las oportunidades para volver a fabricar los productos, reutilizar los componentes o reciclar los materiales (Aksoy, 2010). Van Wassenhove y Zikopoulos (2010) representan la cadena de suministro inversa como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Representación esquemática de la cadena de logística inversa

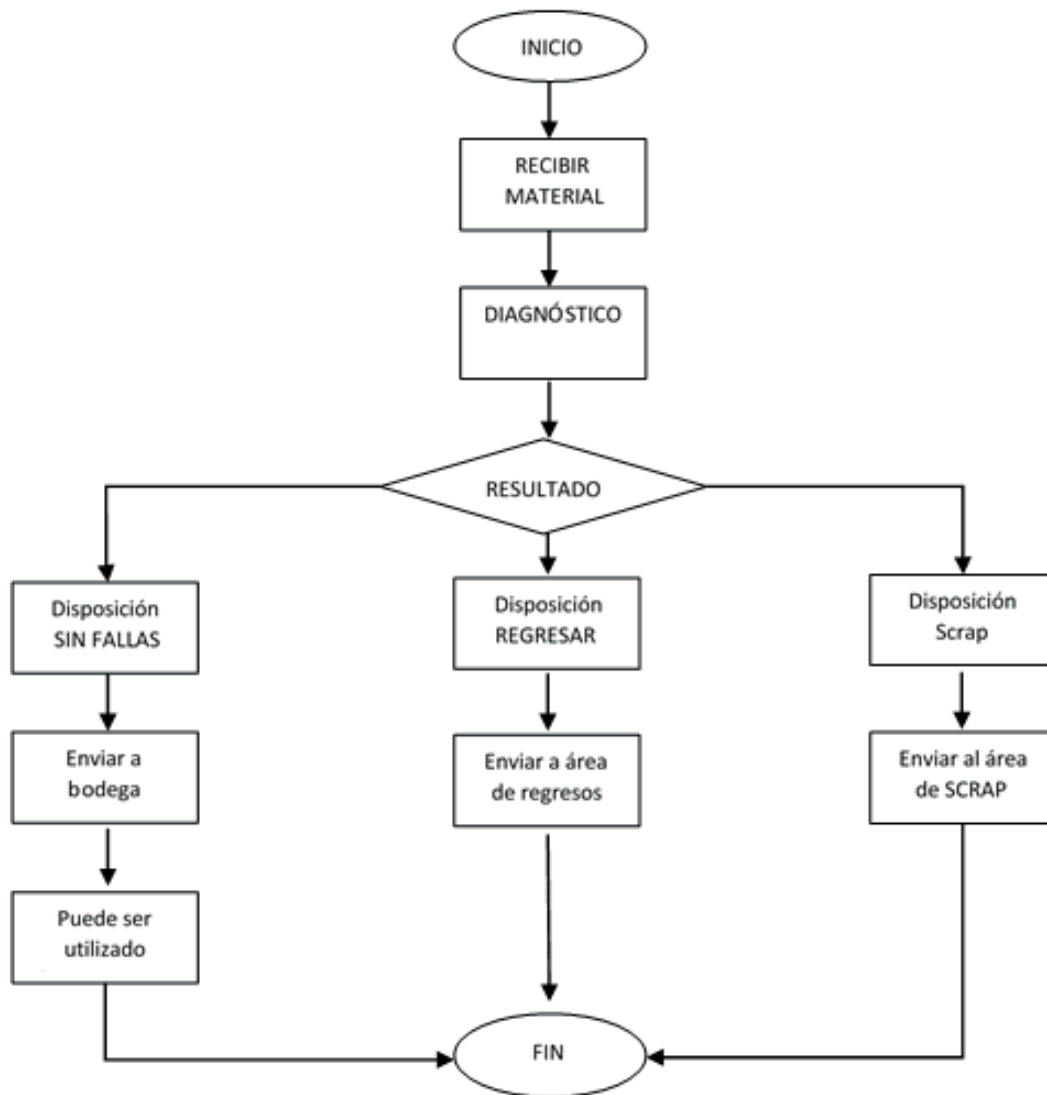


Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, mientras que la remanufactura (componentes de) los productos utilizados se devuelven desde el mercado y a su regreso, los productos utilizados son probados, limpiados y reparados (figura 3). Esto implica que los productos remanufacturados tienen que cumplir las mismas normas de calidad que los nuevos productos (van der Laan *et al.*, 1996).

Un número creciente de empresas han puesto en práctica programas de reciclaje y de re-fabricación completos (Morales, 2008). Estos esfuerzos suelen implicar el funcionamiento de los sistemas de fabricación y remanufactura conjuntas. Uno de los principales retos en la gestión de tales sistemas híbridos es la naturaleza estocástica de los retornos de productos. En particular, existe una variabilidad significativa en las condiciones de los retornos (Aras *et al.*, 2004).

Figura 3. Ejemplo de proceso de remanufactura



Fuente: Elaboración propia

El problema y su contexto

En el proceso de remanufactura, un bajo porcentaje de los productos no es reutilizable, lo cual no genera gran problema, ya que siempre es posible completar la cantidad deficiente (faltante o de baja calidad) con nuevos elementos o materiales comprados a proveedores externos para satisfacer la demanda en un periodo determinado.

Los porcentajes de los productos utilizables o no utilizables son una incertidumbre para el proceso de remanufactura. Para hacer frente a la incertidumbre de la tasa de recuperación de los productos utilizados en el sistema de remanufactura, es recomendable utilizar el análisis bayesiano, pues permite combinar la información nueva con la previa disponible. En este punto, la información previa (distribución anterior) corresponde a los datos históricos o el pensamiento subjetivo de la toma las decisiones acerca del parámetro aleatorio del proceso involucrado. La decisión consecuente o la declaración inferencial (distribución posterior) agrupa toda la información disponible acerca del parámetro incierto de interés. En seguida se describe el teorema de Bayes:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Donde:

P(A|B) es la probabilidad a posteriori

P(B|A) es la distribución de verosimilitud

P(A) es la probabilidad a priori y

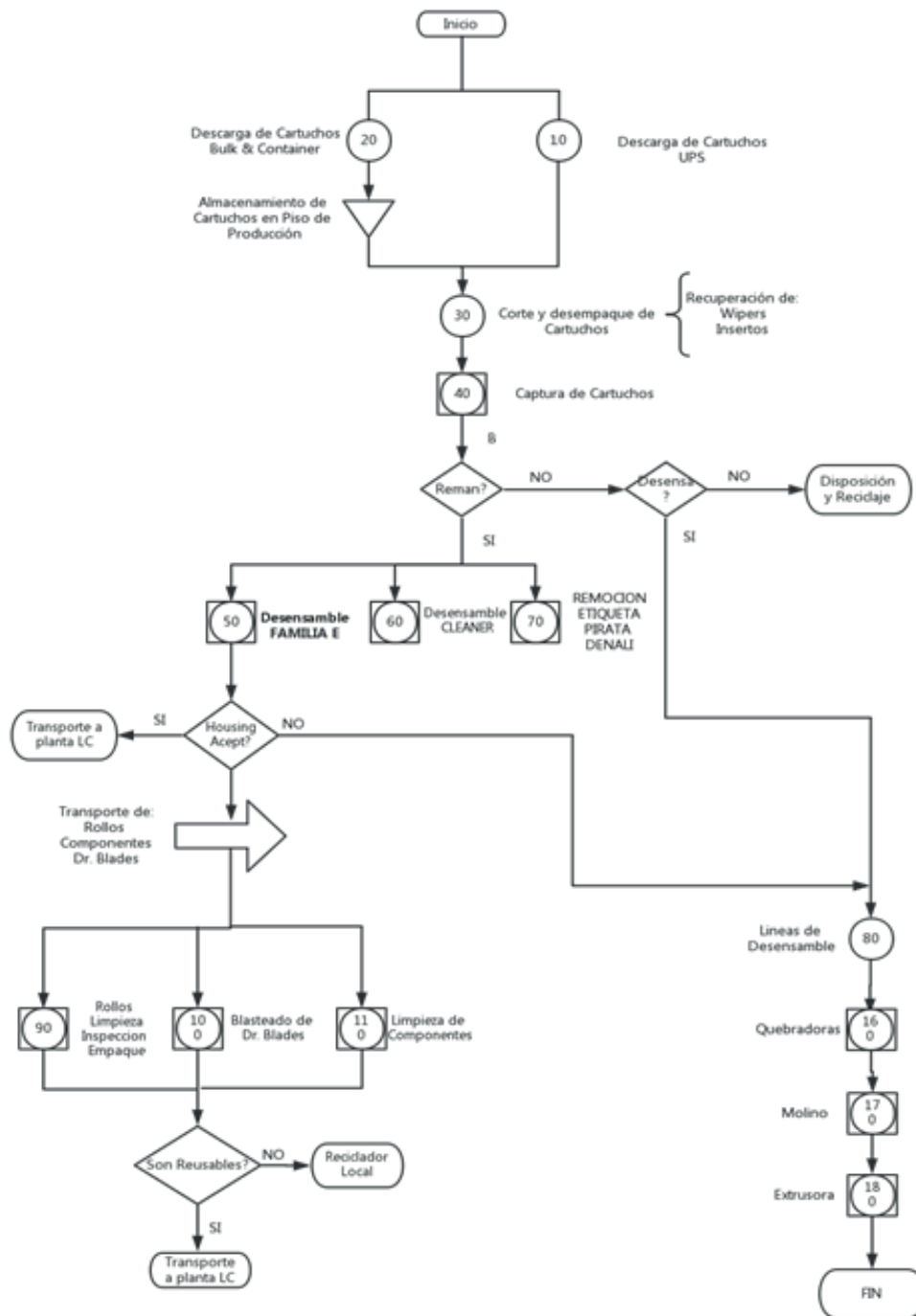
P(B) es la probabilidad marginal

La metodología bayesiana con distribuciones previas adecuadas provee un marco más adecuado que el enfoque clásico cuando se aplica a un problema de decisión estocástico. De esta forma, si es posible determinar la distribución de la demanda, la metodología producirá mejores resultados sobre un amplio rango de valores de los parámetros correspondientes a los niveles de inventarios, principalmente a la incertidumbre en las demandas y los tiempos de entrega de los proveedores.

Los productos considerados en el análisis serán cartuchos de tóner de impresoras de la familia denominada Longbow para después validar el modelo con las otras familias que trabaja la empresa en cuestión. El producto tiene dos maneras de entrar al proceso de desmontaje: la primera que llega de forma semiinspeccionado y cajas completas con el mismo número de parte, en contenedores separados, y la otra que llega a granel, en camiones de una compañía dedicada a la entrega de paquetes. En esta forma de recibo a la planta, llegan los cartuchos en su propio empaque o cajas.

La empresa no tiene conocimiento de los números de parte, las cantidades ni las condiciones de las piezas; inclusive se reciben piezas que no corresponden o los llamados piratas. La figura 4 muestra el diagrama de flujo de la línea de productos donde se está desarrollando esta investigación.

Figura 4. Diagrama de flujo de proceso



Fuente: Elaboración propia

Conceptos básicos

La distribución *a priori* es básica en el análisis bayesiano, ya que mide el grado de conocimiento inicial que se tiene de los parámetros en estudio. Su influencia disminuye a medida que se incrementa la información muestral disponible. El uso de diferentes distribuciones *a priori* determinará ciertas diferencias en la distribución posterior. Cuando nada es conocido sobre los parámetros, la selección de una distribución *a priori* adecuada adquiere una connotación especial, pues será necesario elegir una distribución *a priori* que no influya sobre ninguno de los posibles valores de los parámetros en cuestión. Estas distribuciones son

llamadas *difusas o no informativas*.

Un objetivo primordial de la inferencia bayesiana es resumir la información disponible sobre los parámetros desconocidos que definen los modelos estadísticos a través de la especificación de funciones de densidad de probabilidad. El uso de una función de densidad de probabilidad (fdp) para resumir la incertidumbre sobre el valor de un parámetro no significa que creamos que los valores de parámetros desconocidos son aleatorios; esto solamente significa que nuestro conocimiento del valor de un parámetro es incierto, y que nuestra incertidumbre sobre este valor puede ser representado usando una fdp apropiada. La decisión de las distribuciones no informativas a priori se tomada de acuerdo con la siguiente tabla 1 (Hamada *et al.*, 2008).

Tabla 1. Distribuciones no informativas

Parámetros	A priori no informativa
Binomial (π)	Beta (0.5, 0.5)
Multinomial (π)	Dirichlet (0.5, 0.5, ..., 0.5)
Poisson (λ)	$\lambda^{-1/2}$
Normal (μ, σ conocida)	Constante k
Normal (σ, μ conocida)	σ^{-1}

Fuente: Hamada *et al.* (2008)

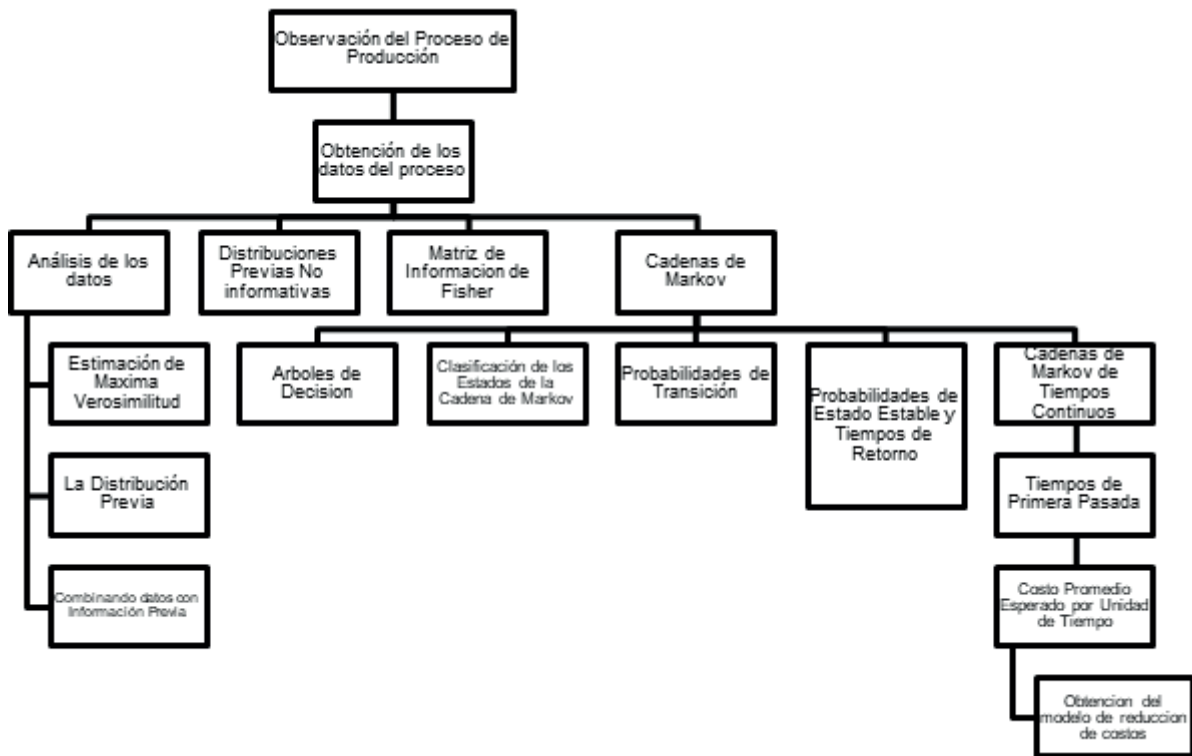
Los parámetros desconocidos se refieren a cosas iguales, probabilidades de falla o tiempos de vida de sistemas; estos son los que se consideran como parámetros de interés. La información disponible normalmente viene en la forma de datos de prueba, experiencia con sistemas relacionados y juicios de ingeniería. Las fdp pueden ocurrir en cuatro diferentes formas: densidades previas, densidades de muestreo o funciones de verosimilitud, densidades posteriores y densidades predictivas (Hamada *et al.*, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección definiremos los tipos de materiales y metodología utilizada para determinar el modelo bayesiano para la remanufacturación y reutilización de recursos obtenidos en esta investigación, la cual se llevó a cabo en una empresa local dedicada a la manufacturación y remanufacturación de cartuchos de impresión. Con esto se pretende proporcionar un modelo confiable que le permita reducir los costos de remanufactura. Para ello, se seleccionó

una sola familia de productos (*Longbow*) debido a su alto volumen de requerimientos. Esta familia maneja dos números de parte 3054263 y 3080687. En la figura 5 se muestran de manera general los pasos que se siguieron en la metodología de la investigación.

Figura 5. Diagrama de metodología utilizada en el modelo bayesiano de la investigación



Fuente: Elaboración propia

Observación del proceso de producción

La empresa dio la oportunidad de observar el proceso de producción de desensamble de los cartuchos de tinta; de ahí se tomó la información que se utilizó para la generación del modelo de remanufactura. A continuación, se presenta una descripción del proceso de desensamble mediante el cual se busca obtener la mayor cantidad de componentes que puedan ser reutilizados en el proceso de remanufactura.

La empresa recibe el material para desensamble de dos formas: en *bulk* (a granel) y por medio de la empresa UPS® (United Parcel Services, por sus siglas en inglés). El retorno en *bulk* viene principalmente de Europa. Esta forma de retorno de material viene en contenedores y preclasificada por números de parte. En la otra forma de retorno, el cliente junta cierta cantidad de piezas para regresar y las lleva directamente a esta empresa. UPS® se encarga de concentrar todo el material y finalmente lo regresa a la planta. La desventaja en este tipo de retornos es que el material no tiene ningún tipo de preclasificación ni identificación del material; incluso llega material proveniente de otras empresas o imitaciones.

Una vez que el material es recibido (*bulk* o UPS®), a cada cartucho se le escanea el número de serie del cartucho y luego se captura el número de chip (circuito integrado); en esta operación se determina si puede ser reutilizado en el proceso de manufactura. Después el ma-

terial se coloca en un *conveyor* (del inglés, transportador). Este conveyor pasa por las líneas de desensamble; cada línea toma el material que le corresponde de acuerdo al modelo. Si el cartucho es colocado en los contenedores rojos, se manda directamente a los contenedores de desperdicio para la recuperación de plásticos y partes metálicas que serán enviadas a compañías recicladoras de materiales.

Si el cartucho puede ser utilizado en el proceso de remanufactura, la primera operación es la remoción de toda la tinta remanente, después se le quitan todos los componentes plásticos y metálicos para después pasar a la estación de limpieza. Una vez que el cartucho se encuentra limpio, se pasa a la estación de inspección visual y remoción de etiqueta y sello. La siguiente estación es el acomodo de los cartuchos en cajas para ser enviados a la planta de remanufactura.

Obtención de los datos del proceso

La obtención de los datos del proceso se hizo según cada paso, siguiendo el diagrama de flujo proporcionado por la empresa. Se seleccionó la familia de productos E por ser la de mayor volumen en la empresa.

En la primera parte del proceso todas las familias siguen el mismo flujo. Hasta después de la captura del chip de los cartuchos, se hace la separación del material y cada producto sigue su flujo de acuerdo a la línea que le corresponde. Algunos otros componentes también son evaluados para determinar si son factibles para la remanufactura.

La primera captura de datos se hace en la operación de desempaque del cartucho, donde se obtiene el número de serie del cartucho. Esta información sirve para determinar si el cartucho realmente corresponde a la empresa, es imitación o pertenece a otra compañía. El siguiente paso del proceso es la operación de captura del chip. Esta cuenta con doce estaciones, donde se procesan todos los cartuchos que llegan, ya sea en *bulk* o UPS® (figura 6).

Figura 6. Estaciones de captura de chip



Fuente: Elaboración propia

La información obtenida en esta estación sirve para determinar la cantidad de piezas que se considera que servirán para el proceso de remanufactura del total de piezas recibidas. En la tabla 2 se muestra la información de un mes.

Tabla 2. Ejemplo de información obtenida

	Agosto		
	Total		PORCENTAJE DE ACEPTACION
	PROCESADAS	ACEPTADAS	
Línea 1	48,541	21,951	45.222 %
Línea 2	51,103	34,233	66.988 %
Línea 3	38,590	23,885	61.894 %
Línea 4	27,011	18,545	68.657 %
Línea 5	39,488	28,757	72.825 %
Línea 6	35,660	24,053	67.451 %
Línea 7	26,484	15,803	59.67 %
Línea 8	31,690	22,668	71.53 %
Línea 9	32,699	22,843	69.858 %
Línea 10	35,292	25,085	71.078 %
Línea 11	32,076	26,348	82.142 %
Línea 12	33,831	27,050	79.956 %

Fuente: Elaboración propia

En la operación 50 se desensamblan los cartuchos y se separan las diferentes partes del cartucho. Al final de la línea de desensamble se vuelve a capturar la información del total de cartuchos aceptados para ser enviados a la planta de remanufactura. La mayoría de las partes pueden ser utilizadas en el proceso de remanufactura, pero nos enfocamos en el contenedor de tinta developer (revelador).

La siguiente información recabada durante la investigación son los tiempos de las operaciones del proceso, desde el desempaque ya sea UPS® o *bulk*, captura y el desensamble del contenedor de tinta. Los tiempos fueron tomados con cronómetro. Una vez que se determina que los componentes cumplen con todos los criterios de aceptación para ser utilizados en el proceso de remanufactura, se pasan a la estación de calidad para que tome una muestra de todos los componentes (figura 7).

Figura 7. Ejemplo de reporte de calidad

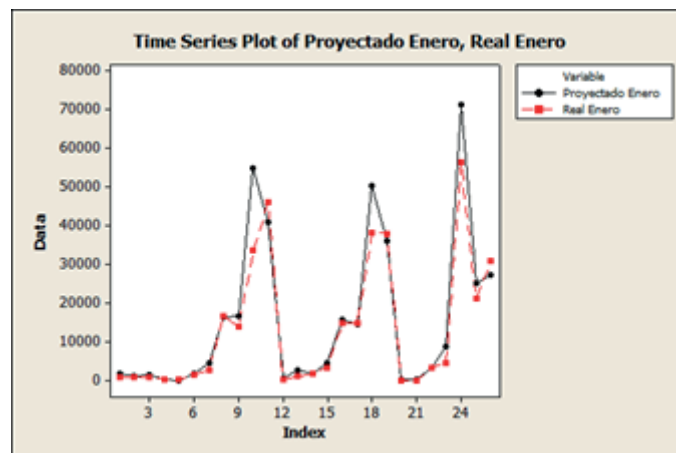
	Julio					Jul	Agosto				Ago
	Wk 27	Wk 28	Wk 29	Wk 30	Wk 31		Wk 32	Wk 33	Wk 34	Wk 35	
Pieces Inspected	812	819	784	581	580	3576	707	544	507	651	2599
Pieces Rejected	8	6	28	14	20	76	17	25	30	19	81
% Developer 1ro	0.99%	0.73%	3.57%	2.41%	3.45%	2.13%	2.40%	3.68%	3.53%	2.92%	3.15%
Pieces Inspected	644	658	693	714	560	3209	560	560	413	483	2016
Pieces Rejected	6	9	15	19	8	57	10	11	5	5	31
% Developer 2do	1.24%	1.37%	2.16%	2.68%	1.07%	1.74%	1.79%	1.96%	1.21%	1.04%	1.64%
Pieces Inspected	850	840	710	450	500	3300	810	580	390	770	2350
Pieces Rejected	17	13	17	10	15	72	8	5	9	16	35
% Cleaner 1ro	1.98%	1.50%	2.39%	2.22%	3.00%	2.14%	0.98%	0.86%	2.56%	2.08%	1.49%
Pieces Inspected	570	520	1070	1110	1120	4300	630	330	480	850	2290
Pieces Rejected	0	0	7	4	12	23	4	1	2	2	9
% Cleaner 2do	0.00%	0.00%	0.65%	0.36%	1.07%	0.52%	0.63%	0.30%	0.42%	0.24%	0.39%
Pallets Inspected	29	22	22	29	26	128	28	13	21	19	81
Pallets Rejected	2	1	1	1	3	9	0	2	0	1	3
% Componentes	6.90%	4.55%	4.55%	3.45%	11.54%	6.25%	1.00%	14.29%	0.00%	5.26%	3.70%
Pallets Inspected	4	2	8	5	4	23	8	18	14	14	54
Pallets Rejected	0	0	0	1	0	1	0	1	2	1	4
% Componentes	0.00%	0.00%	0.00%	20.00%	0.00%	4.35%	0.00%	5.56%	14.29%	7.14%	7.41%
Pieces Inspected	378	371	217	350	301	1617	308	280	371	308	1267
Pieces Rejected	3	0	4	6	7	20	2	6	5	0	13
% Pirate y Dinali	0.79%	0.00%	1.84%	1.71%	2.33%	1.24%	0.65%	2.14%	1.35%	0.00%	1.03%
Pieces Inspected	70	14	0	0	0	84	0	136	162	147	409
Pieces Rejected	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	3
% Pirate y Dinali	1.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.19%	0.00%	2.21%	0.00%	0.00%	0.65%
Total Insp						16447					11050
Total Def						258					179
%						1.57					1.61
Meta/Goal	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE LOS DATOS

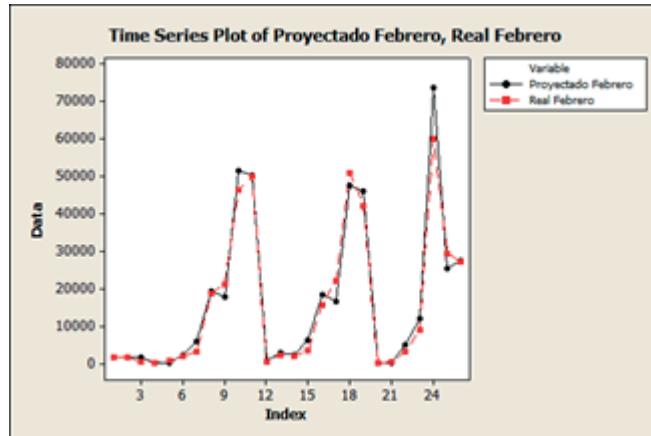
El primer paso fue analizar por medio de un análisis de series de tiempo los datos recabados de la estación de captura de número de serie. Se analizaron los datos de lo proyectado contra lo aceptado de los meses de enero a diciembre de uno de los años en los que se realizó esta investigación (figuras 8 y 9). Debemos recordar que las piezas recibidas no necesariamente servirán en el proceso de remanufactura; es decir, esta información solo refleja lo que se pronosticó que llegaría contra lo que realmente fue recibido en la planta.

Figura 8. Análisis serie de tiempo del mes de enero



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Análisis serie de tiempo del mes de febrero



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se analizaron los datos de la estación de captura del chip, como se mencionó anteriormente; estos datos son de las piezas que se consideró que podían servir para el proceso de remanufactura.

A los datos de las estaciones de captura de chip se les realizó una prueba de Anova (*analysis of variance*, por sus siglas en inglés) para comprobar igualdad de varianzas. Los resultados se anexan a continuación.

One-way ANOVA: procesadas, aceptadas

Método

Hipótesis nula: Todas las medias son iguales

Hipótesis alternativa: Al menos una media es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se asumieron varianzas iguales para el análisis

Información del factor

Factor Niveles Valores

Factor 2: procesadas, aceptadas

Análisis de varianza

Fuente DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value

Factor 1 831244481 831244481 20.96 0.000
Error 22 872528533 39660388
Total 23 1703773014

Resumen del modelo

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
6297.65 48.79% 46.46% 39.05%

Medias

Factor N Mean StDev 95% CI
Procesadas: 12 36039 7542 (32269, 39809)
Aceptadas: 12 24268 4736 (20498, 28039)

Pooled StDev = 6297.65

Factor Information

Factor Levels Values
Factor 2 Procesadas, Aceptadas

Analysis of Variance

Fuente DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value
Factor 1 831244481 831244481 20.96 0.000
Error 22 872528533 39660388
Total 23 1703773014

Resumen del modelo

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
6297.65 48.79% 46.46% 39.05%

Medias

Factor N Media StDev 95% CI

Procesadas 12 36039 7542 (32269, 39809)

Aceptadas 12 24268 4736 (20498, 28039)

Pooled StDev = 6297.65

Adicional al ANOVA se realizó una prueba de T-Student para corroborar los resultados obtenidos anteriormente.

Two-Sample T-Test and CI: Procesadas, Aceptadas

T de dos muestras T para Procesadas vs Aceptadas

	N	Mean	StDev	SE Mean
Procesadas	12	36039	7542	2177
Aceptadas	12	24268	4736	1367

Diferencia = μ (Procesadas) - μ (Aceptadas)

Estimado para diferencias: 11770

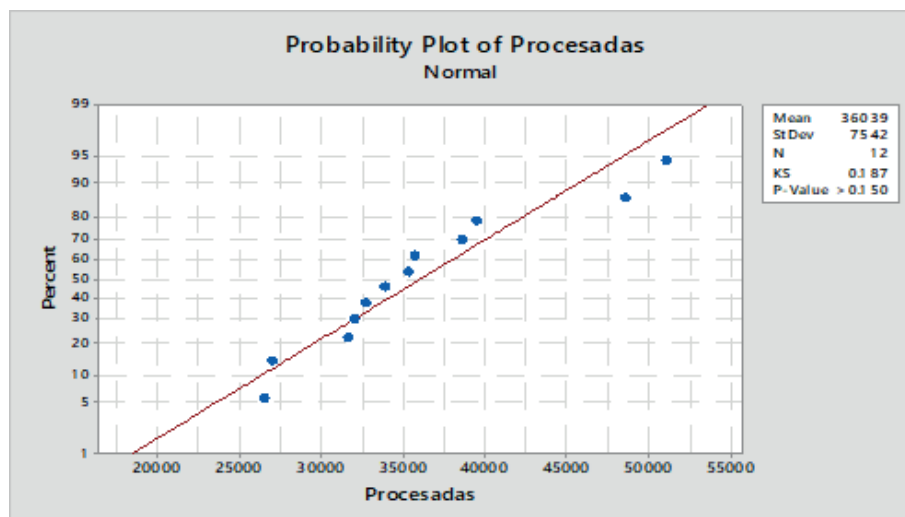
95% CI para difference: (6438, 17102)

T-Test de diferencias = 0 (vs \neq): T-Value = 4.58 P-Value = 0.000 DF = 22

Desviación estándar combinada para ambos = 6297.6494

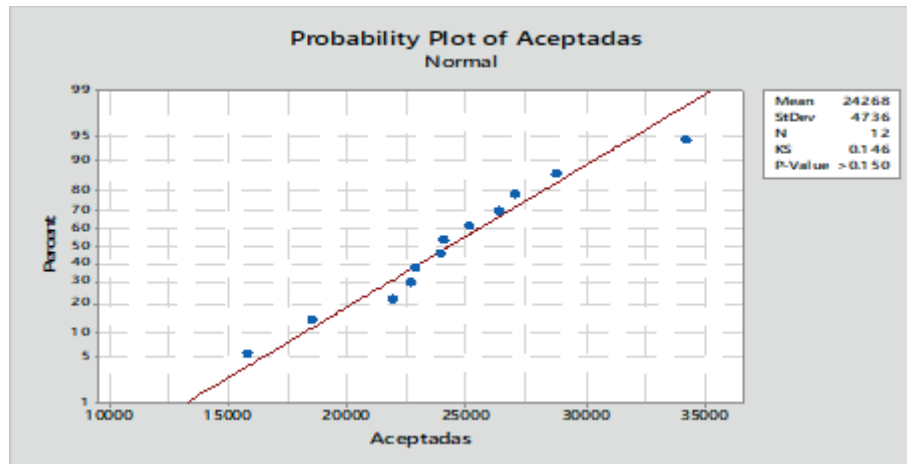
Se realizó una prueba de normalidad a los datos procesados y a los datos aceptados. A continuación, en las figuras 10 y 11 se muestran los gráficos.

Figura 10. Gráfica de prueba de normalidad procesadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Gráfica de prueba de normalidad aceptadas



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se describen algunos conceptos básicos para la obtención del modelo de regresión bayesiano en el proceso de remanufactura antes descrito. Se comienza con la estimación del comportamiento de los datos y los parámetros de inicio con la información obtenida.

Estimación de los parámetros mediante inferencia bayesiana

Gutiérrez y Zhang (2009) mencionan que en las últimas décadas el análisis bayesiano ha sido uno de los aspectos de mayor desarrollo en el campo de la estadística. Los avances de las ciencias computacionales, como los algoritmos de MCMC, han hecho que la utilización de los métodos bayesianos sea cada vez más común por parte del investigador. Para realizar un análisis bayesiano con respecto a un parámetro desconocido θ , es necesario modelar la opinión a priori que se tiene sobre el parámetro mediante una función de densidad de probabilidad. Sin embargo, no es sencillo el caso cuando la información inicial puede ser expresada en términos de una distribución de probabilidad concreta debido, principalmente, a que con frecuencia esta información a priori es difusa.

Berger (2010) considera que existen siete importantes argumentos para usar inferencia bayesiana en el análisis de información con posible existencia de incertidumbre, es decir, realizar un análisis bayesiano. Los argumentos mencionados por Berger (2010) son:

- I. Importante información previa será disponible.
- II. La incertidumbre podrá ser cuantificada probabilísticamente.
- III. El punto de vista condicional.
- IV. Coherencia y racionalidad.
- V. Equivalencia de la optimalidad y las reglas de Bayes.
- VI. Ventaja operacional del análisis bayesiano.
- VII. Objetividad e incertidumbre científica.

Cálculo de los parámetros de inicio

Se utilizaron los datos de 12 semanas proporcionados por la empresa para hacer una demostración de normalidad para las diferentes variables, como el número de productos retornados, el número de productos desensamblados, el número de productos disponibles, etc. Se pudo observar que realmente tienen un comportamiento normal, y se obtienen los valores de la desviación estándar muestral y la media aritmética de las muestras de cada una de ellas.

Es necesario hacer énfasis en que el propósito es hacer una inferencia para los valores poblacionales, en cada uno de los casos, es decir, estimar el verdadero comportamiento de cada variable. Todo esto se llevó a cabo con la intención de tener una información de inicio sobre el comportamiento de los datos y posteriormente construir el modelo de regresión para los costos de remanufactura en función de la tasa de reutilización. En seguida se enlistan los conceptos básicos requeridos para los cálculos en las estimaciones por realizar. El comportamiento normal de los datos para las diferentes variables nos conduce a recordar los siguientes conceptos:

Albert (2009) incluye un análisis de datos normales con ambos parámetros desconocidos, e incluye la previa no informativa $g(\mu, \sigma^2) \propto 1/\sigma^2$, y menciona que la densidad posterior de la media y la varianza es dada por:

$$g(\mu, \sigma^2|y) \propto \frac{1}{(\sigma^2)^{\frac{n}{2}+1}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(S + n(\mu - \bar{y})^2)\right) \quad (5.6)$$

donde n es el tamaño de la muestra ($n = 12$), \bar{y} es la media de la muestra y

$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)}$ es la desviación estándar. La densidad posterior conjunta tiene la forma de la distribución normal/ inversa chi-cuadrada donde:

- La posterior de μ condicional sobre σ^2 es distribuida como $N(\bar{y}, \sigma/\sqrt{n})$
- La marginal posterior de σ^2 se distribuye como $S\chi_{n-2}^{-2}$, donde χ_{ν}^{-2} representa una distribución chi-cuadrada inversa con ν grados de libertad.

En seguida se usó el software R® para:

- Elaborar una gráfica de contorno para la densidad posterior conjunta para cada una de las variables involucradas en el estudio.
- Determinación de los parámetros posteriores μ, σ de cada una de las variables.
- Obtención del modelo de regresión para los costos de remanufactura considerando la tasa de reutilización.

Las variables involucradas en el análisis son las siguientes:

$E(PR)$: Número esperado de productos regresados por unidad de tiempo.

$E(D)$: Número esperado de unidades dispuestas por unidad de tiempo.

$E(P)$: Número esperado de unidades probadas por unidad de tiempo.

$E(Des)$: Número esperado de unidades desensambladas por unidad de tiempo.

$E(R)$: Número esperado de unidades remanufacturadas por unidad de tiempo.

$E(NP)$: Número esperado de nuevos productos por unidad de tiempo.

Cc : Costo de compra de los productos regresados (Costo/pieza= 0.25)

Cd : Costo de disposición por producto (Costo/pieza = 0.75)

Cpr : Costo de prueba por producto regresado (Costo/pieza = 0.10)

$Cdes$: Costo de desensamble por producto regresado (Costo/pieza = 0.85)

Cnp : Costo de nuevos productos (Costo promedio/pieza = 1.31)

Cm : Costo de remanufactura (Costo/ pieza = 1.50)

La distribución normal está dada por:

$$f(y|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(y - \mu)^2\right] \quad (5.2)$$

y de acuerdo con Box y Tiao (1973), considerando que \bar{y} se dice ser un estadístico suficiente para μ , y asumiendo de acuerdo con Box y Tiao (1973), Albert (2009), además de Gelman (2002), la *a priori* estándar no informativa:

$$g(\mu, \sigma^2|y) \propto \frac{1}{\sigma^2} \quad (5.3)$$

la función de verosimilitud se puede escribir:

$$L(\mu, \sigma|y) \propto \sigma^{-n} \exp\left\{-\frac{1}{\sigma^2}[(n-1)s^2] + n(\bar{y} - \mu)^2\right\} \quad (5.4)$$

Donde

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.5)$$

es la varianza muestral de las y_i 's.

Introducción de los datos de inicio en el software R®

Los datos obtenidos en la empresa fueron escritos en forma de vectores para ser procesados y hacer las inferencias requeridas. Los vectores se muestran en seguida:

```
>PR=c(55822,58768,44379,31063,45411,41009,30457,36444,37604,40586,36887,38906)
>NP=c(3875,4032,2816,6488,2592,5760,3475,2592,3127,2470,4560,1728)
>PROBADAS=c(48541,51103,38590,27011,39488,35660,26484,31690,32699,35292,32076,33831)
>DESENSAMBLADAS=c(21951,34233,23885,18545,28757,24053,15803,22668,22843,25085,26348,27050)
>DISPUESTAS=c(26590,16870,14705,8466,10731,11607,10681,9022,9856,10207,5728,6781)
>REMANUFACTURADAS=c(22601,14339,12499,7196,9121,9865,9078,7668,8377,8675,4868,5763)
> data=data.frame(NP3,PR,PROBADAS,DESENSAMBLADAS,DISPUESTAS, REMANUFACTURADAS)
> data
```

La instrucción *data.frame* convierte los vectores en forma tabular, donde las columnas son componentes de un vector en . La construcción del data frame permite simular y obtener estimaciones estadísticas bayesianas, iniciando con distribuciones posteriores y sus parámetros correspondientes.

La tabla 3 muestra los datos obtenidos en la empresa de los rubros antes mencionados; para probar la normalidad de las variables resultantes de los datos obtenidos en la empresa, se hicieron pruebas de normalidad. Los resultados se muestran en las gráficas de la figura 12.

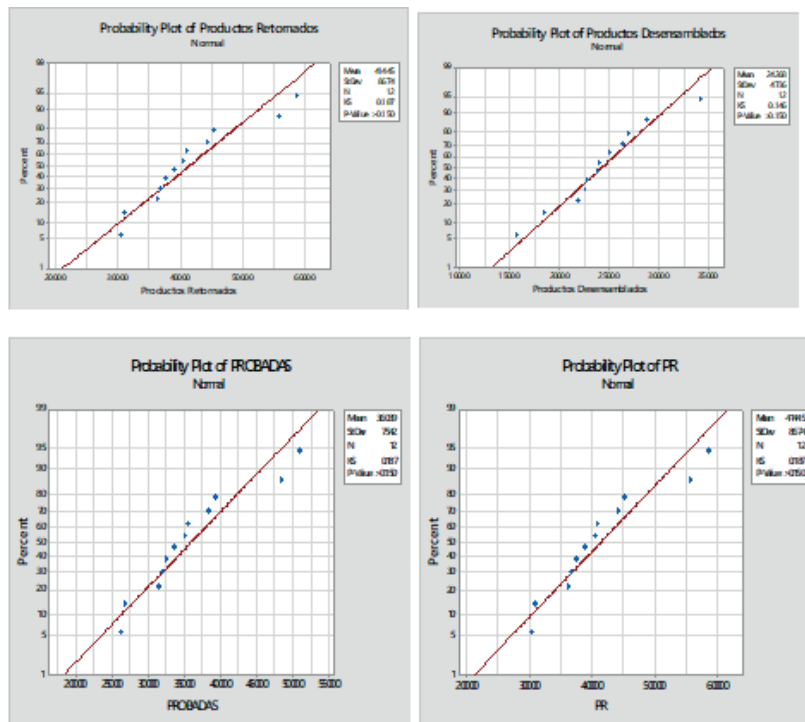
Tabla 3. Datos de las seis variables por incluir en el análisis para la construcción del modelo

SEM PR NP PROB DESEN DISP REMANUF.

1	55822	3875	48541	21951	26590	22601
2	58768	4032	51103	34233	16870	14339
3	44379	2816	38590	23885	14705	12499
4	31063	6488	27011	18545	8466	7196
5	45411	2592	39488	28757	10731	9121
6	41009	5760	35660	24053	11607	9865
7	30457	3475	26484	15803	10681	9078
8	36444	2592	31690	22668	9022	7668
9	37604	3127	32699	22843	9856	8377
10	40586	2470	35292	25085	10207	8675
11	36887	4560	32076	26348	5728	4868
12	38906	1728	33831	27050	6781	5763

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Gráficas de probabilidad demostrando el comportamiento normal de las variables



Fuente: Elaboración propia

Los vectores que a continuación se muestran en el programa son los costos mensuales para cada una de las variables enlistadas. La forma dada de los vectores se debe a la manera de introducirlos en el software R®.

```
>Cpr=c(13955.5,14692.0,11094.8,7765.8,11352.8,10252.3,7614.3,9111.0,9401.0,10146.5,9221.8,9726.5)
>Cnp=c(5076.3,5281.9,3689.0,8499.3,3395.5,7545.6,4552.3,3395.5,4096.4,3235.7,5973.6,2263.7)
>Cprob=c(4854.1,5110.3,3859.0,2701.1,3948.8,3566.0,2648.4,3169.0,3269.9, 3529.2,3207.6,3383.1)
>Cdes=c(18658.3,29098.0,20302.3,15763.3,24443.5,20445.0,13432.5,19267.8,19416.5,21322.3,22395.8, 22992.5)
>Cdisp=c(19942.5,12652.5,11028.8,6349.5,8048.3,8705.3,8010.8,6766.5,7392.0,7655.3,4296.0,5085.8)
>Crem=c(33901.5,21508.5,18748.5,10794.0,13681.5,14797.5,13617.0,11502.0,12565.5,13012.5,7302.0,8644.5)
>CTOTAL=c(98456.0,90217.0,69700.0,52800.0,65012.0,68940.0,51023.0,54179.0,57859.0,69935.0,53428.0,53179.0)
>data=data.frame(CTOTAL,Cpr,Cnp,Cprob,Cdes,Cdisp,Crem) # Construcción de la tabla de datos
> data
```

La tabla 4 muestra los datos de costos para los periodos de tiempo dados.

Tabla 4. La variable de respuesta CTOTAL y las seis variables predictoras

	CTOTAL	Cpr	Cnp	Cprob	Cdes	Cdisp	Crem
1	98456	13955.5	5076.3	4854.1	18658.3	19942.5	33901.5
2	90217	14692.0	5281.9	5110.3	29098.0	12652.5	21508.5
3	69700	11094.8	3689.0	3859.0	20302.3	11028.8	18748.5
4	52800	7765.8	8499.3	2701.1	15763.3	6349.5	10794.0
5	65012	11352.8	3395.5	3948.8	24443.5	8048.3	13681.5
6	68940	10252.3	7545.6	3566.0	20445.0	8705.3	14797.5
7	51023	7614.3	4552.3	2648.4	13432.5	8010.8	13617.0
8	54179	9111.0	3395.5	3169.0	19267.8	6766.5	11502.0
9	57859	9401.0	4096.4	3269.9	19416.5	7392.0	12565.5
10	69935	10146.5	3235.7	3529.2	21322.3	7655.3	13012.5
11	53428	9221.8	5973.6	3207.6	22395.8	4296.0	7302.0
12	53179	9726.5	2263.7	3383.1	22992.5	5085.8	8644.5

Fuente: Elaboración propia

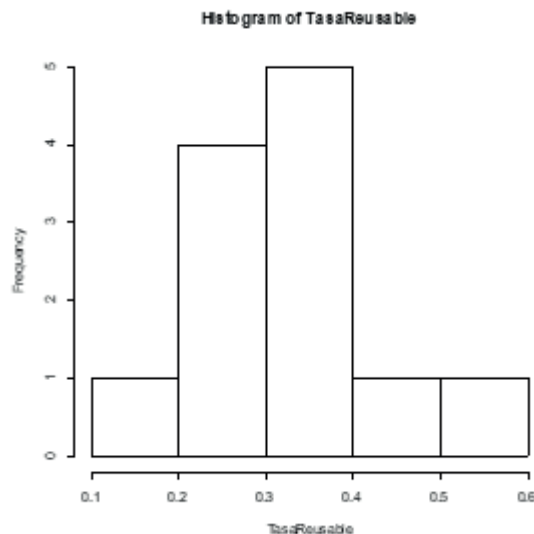
El modelo de regresión de los productos para remanufactura estará basado en la tasa de reutilización, lo que conduce a un análisis de su comportamiento. Los valores dados de tasa reusable fueron dados por la empresa y analizados como se muestra en seguida. Primero se elaboró un histograma y posteriormente se construyó una gráfica de contorno para cada una de las variables, calculándose la media y la varianza de la función de densidad posterior.

Programa en R® para análisis del comportamiento de la tasa reusable

a. Introducción de la información

```
=c(0.547784,0.330118,0.381057,0.313428,0.271753,0.325491,0.403300,0.284695,0.301416,0.289216,0.178576,0.200437)
```

Figura 13. Histograma del comportamiento de la tasa reusable



b. Construcción del contorno y estimación de los parámetros

```
d=mycontour(normchi2post,c(0.10,0.60,0.001,0.08),TasaReusable,xlab="media",ylab="varianza") # Establece los límites de la gráfica de contorno para la tasa reusable
```

```
> S=sum((TasaReusable-mean(TasaReusable))^2)
```

```
> n=length(TasaReusable) # Total de datos para el cálculo de la varianza posterior
```

```
> sigma2=S/rchisq(1000,n-1) # Cálculo de la varianza en función de chi-cuadrada
```

```
> mu=rnorm(1000,mean=mean(TasaReusable),sd=sqrt(sigma2)/sqrt(n)) # Cálculo de la media posterior para 1000 datos simulados normales
```

```
> points(mu,sigma2) # Construcción de la gráfica de contorno
```

```
> quantile(sqrt(sigma2),c(0.025,0.50,0.975)) # Cálculo de los percentiles 2.5, 50 y 97.5
```

2.5% 50% 97.5%

0.06655905 0.09928186 0.16528621

En la gráfica de contorno, elaborada con 1000 observaciones (figura 13) se muestra el comportamiento de la distribución posterior de la tasa reusable; allí se observa la dispersión y acumulación de los datos alrededor del valor central. La generación de los datos de la posterior permite el cálculo de la media y la varianza posteriores. La figura 14 muestra los histogramas de la media y la varianza posteriores. La instrucción de R® en seguida calcula

los percentiles 25, 50 y 75 de la media aritmética de la tasa reusable:

```
quantile(mu,c(.025,0.50,0.975))
```

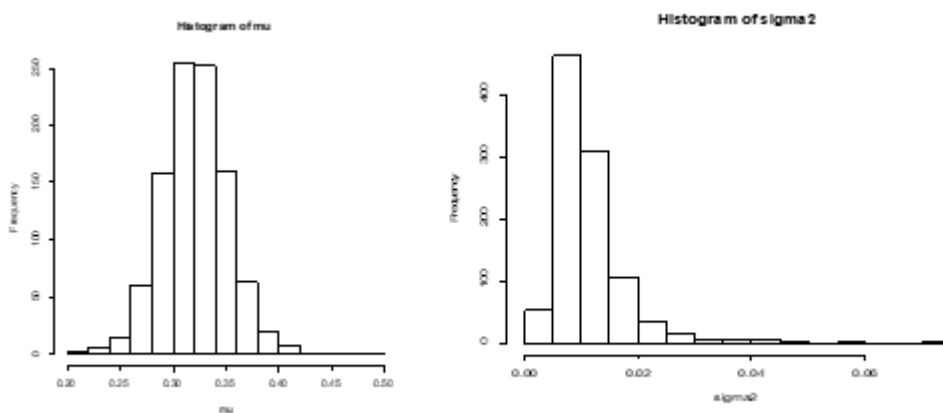
2.5% 50% 97.5%

```
0.2614813 0.3203140 0.3822707
```

```
hist(mu)
```

```
hist(sigma2)
```

Figura 14. Histogramas de la media y la varianza posteriores de la tasa reusable



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se obtienen las gráficas de contorno de las demás variables. Se puede observar que se establecen los límites en el eje de las x y de las y en las instrucciones dadas en la elaboración de la gráfica de contorno.

```
> d=mycontour(normchi2post,c(100,8000,500000,12000000),NP,xlab="media",ylab="varianza")
```

```
> S=sum((NP3-mean(NP3))^2)
```

```
> n=length(NP3)
```

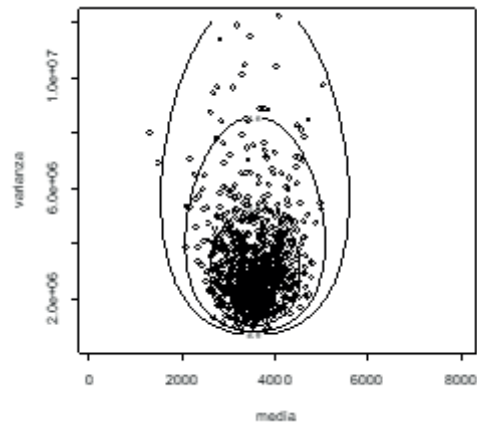
```
> sigma2=S/rchisq(1000,n-1)
```

```
> mu=rnorm(1000,mean=mean(NP3),sd=sqrt(sigma2)/sqrt(n))
```

```
> points(mu,sigma2)
```

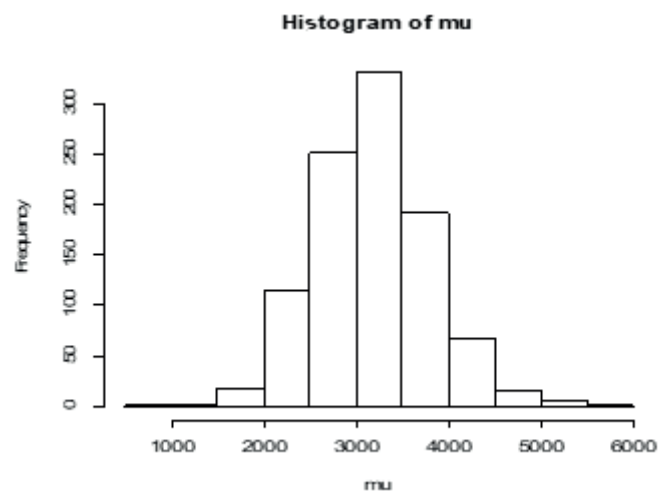
La figura 15 muestra la gráfica de contorno para NP (nuevos productos), mientras que la figura 16 muestra el comportamiento posterior de la media μ .

Figura 15. Comportamiento de los Parámetros de NP (nuevos productos)



Fuente: Elaboración propia

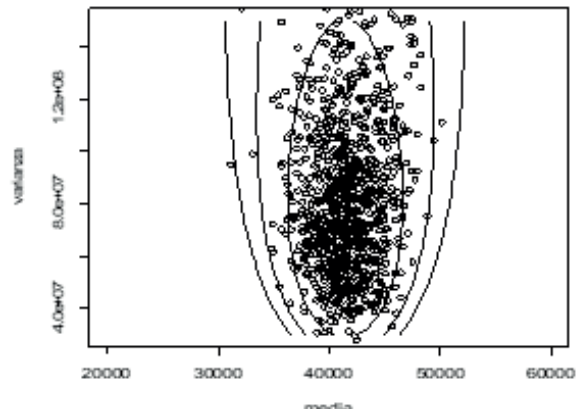
Figura 16. Histograma del comportamiento de la media (μ) para NP (densidad posterior)



Fuente: Elaboración propia

```
d=mycontour(normchi2post,c(20000,60000,30000000,150000000),PR,xlab="media",ylab="varianza")
S=sum((PR-mean(PR))^2)
n=length(PR)
sigma2=S/rchisq(1000,n-1)
mu=rnorm(1000,mean=mean(PR),sd=sqrt(sigma2)/sqrt(n))
points(mu,sigma2)
```

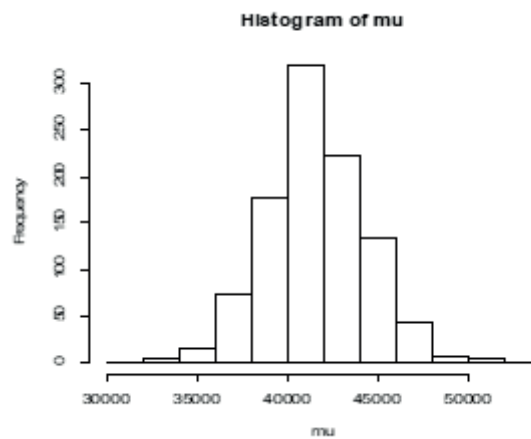
Figura 17. Gráfica de Contorno para PR (densidad posterior)



Fuente: Elaboración propia

```
>d=mycontour(normchi2post,c(20000,60000,30000000,150000000),PR,xlab="media",ylab="varianza")
> S=sum((PR-mean(PR))^2)
> n=length(PR)
> sigma2=S/rchisq(1000,n-1)
> mu=rnorm(1000,mean=mean(PR),sd=sqrt(sigma2)/sqrt(n))
> points(mu,sigma2)
```

Figura 18. Histograma para μ de PR (productos retornados)



Fuente: Elaboración Propia

Modelo de regresión lineal

Los datos que se muestran a continuación en la tabla 5 son utilizados para la construcción del modelo de regresión lineal.

Tabla 5. La Variable de respuesta (CTOTAL) y las seis variables predictoras

	CTOTAL	Cpr	Cnp	Cprob	Cdes	Cdisp	Crem
1	98456	13955.5	5076.3	4854.1	18658.3	19942.5	33901.5
2	90217	14692.0	5281.9	5110.3	29098.0	12652.5	21508.5
3	69700	11094.8	3689.0	3859.0	20302.3	11028.8	18748.5
4	52800	7765.8	8499.3	2701.1	15763.3	6349.5	10794.0
5	65012	11352.8	3395.5	3948.8	24443.5	8048.3	13681.5
6	68940	10252.3	7545.6	3566.0	20445.0	8705.3	14797.5
7	51023	7614.3	4552.3	2648.4	13432.5	8010.8	13617.0
8	54179	9111.0	3395.5	3169.0	19267.8	6766.5	11502.0
9	57859	9401.0	4096.4	3269.9	19416.5	7392.0	12565.5
10	69935	10146.5	3235.7	3529.2	21322.3	7655.3	13012.5
11	53428	9221.8	5973.6	3207.6	22395.8	4296.0	7302.0
12	53179	9726.5	2263.7	3383.1	22992.5	5085.8	8644.5

Fuente: Elaboración propia

Albert (2009) menciona que, generalmente, al construir un modelo de regresión estamos interesados en describir la variación de la variable de respuesta y (CTOTAL) en términos de k variables predictoras. Se puede describir el valor promedio de y_i , la respuesta para el i -ésimo individuo, como:

$$E(y_i|\beta, X) = \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}, i = 1, \dots, n$$

donde las x_{i1}, \dots, x_{ik} son los valores predictores para el i -ésimo individuo y β_1, \dots, β_k son parámetros de regresión desconocidos. El modelo también puede ser representado mediante un vector renglón de variables regresoras y un vector columna de coeficientes de regresión como:

$$E(y_i|\beta, X) = x_i \beta$$

Donde las $\{y_i\}$ son consideradas condicionalmente independientes dados los valores de los parámetros y las variables predictoras. Un supuesto importante en el ajuste del modelo de regresión es el de varianzas iguales, es decir, $var(y_i|\theta, X) = \sigma^2$. En seguida hacemos que $\theta = (\beta_1, \dots, \beta_k, \sigma^2)$ represente el vector de parámetros desconocidos y asumimos que los errores $\varepsilon_i = y_i - E(y_i|\beta, X)$ son independientes y normalmente distribuidos con media cero y varianza σ^2 . Matricialmente, el modelo puede escribirse como:

$$(y|\beta, \sigma^2, X) \sim N_n(X\beta, \sigma^2)I$$

Donde y es el vector de observaciones, X es la matriz de diseño, I es la matriz de identidad y $N_k(\mu, A)$ representa una distribución normal multivariada de dimensión k con vector de medias μ y matriz de varianzas y covarianzas A . La formulación del modelo se completa asumiendo (β, σ^2) que tiene la previa no informativa típica:

$$g(\beta, \sigma^2) \propto \frac{1}{\sigma^2}$$

La función de densidad conjunta de (β, σ^2) se representa como el producto:

$$g(\beta, \sigma^2 | y) = g(\beta | y, \sigma^2) g(\sigma^2 | y)$$

La distribución posterior del vector de regresión β condicional sobre la varianza del error σ^2 , $g(\beta | y, \sigma^2)$, es normal multivariada con media $\hat{\beta}$ y matriz de varianzas y covarianzas V_β donde:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y, V_\beta = (X'X)^{-1}$$

Ahora, si se define la densidad gamma inversa (a, b) proporcional a:

$$y^{a-1} \exp\{-b/y\}$$

Entonces, la distribución marginal posterior de σ^2 es gamma inversa:

$$((n - k)/2, S/2)$$

dond

$$S = (y - X\hat{\beta})'(y - X\hat{\beta})$$

Albert (2009) considera que las expresiones para las distribuciones posterior y predictiva nos conducen a elaborar algoritmos de simulación eficientes. Así, para simular a partir de la distribución posterior conjunta el vector coeficiente de regresión β y la varianza de error σ^2 , uno deberá simular un valor de la varianza del error de su densidad marginal posterior para, en seguida, simular un valor de β de la densidad condicional posterior $g(\sigma^2 | y)$. Luego se muestra el algoritmo en R para la simulación de valores para la media y la varianza a partir de las distribuciones componentes gamma inversa y normal multivariada. El modelo de regresión puede escribirse:

$$C(\text{Total}) = -3.030e + 03 - 1.016e + 04 E(\text{pr}) + 1.250e + 00 E(\text{np}) - 2.230e + 05 E(\text{prob}) \\ + 2.967e + 04 E(\text{des}) + 4.097e + 04 E(\text{dis}) - 4.317e + 03 E(\text{rem})$$

El comando R® en seguida genera el modelo y sus coeficientes:

```
> fit=lm(CTOTAL~Cpr+Cnp+Cprob+Cdes+Cdisp+Crem,data=data, x=TRUE,y=TRUE)
> summary(fit)
```

Call:

```
lm(formula = CTOTAL ~ Cpr + Cnp + Cprob + Cdes + Cdisp + Crem,
    data = data, x = TRUE, y = TRUE)
```

Residuals:

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
-645.1 1088.1 -489.5 1430.1 -2571.8 -1112.4 -1795.7 505.2 2201.9 4727.2 -1616.1 -1722.0
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -3.030e+03 1.365e+04 -0.222 0.833
Cpr -1.016e+04 2.222e+04 -0.457 0.667
Cnp 1.250e+00 6.297e-01 1.984 0.104
Cprob -2.230e+05 1.565e+05 -1.425 0.213
Cdes 2.967e+04 2.106e+04 1.409 0.218
Cdisp 4.097e+04 2.472e+04 1.657 0.158
Crem -4.317e+03 2.505e+03 -1.723 0.145
```

Residual standard error: 3098 on 5 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9816, Adjusted R-squared: 0.9594

F-statistic: 44.34 on 6 and 5 DF, p-value: 0.0003545

El modelo de regresión será:

$$C(\text{Total}) = -3.030e + 03 - 1.016e + 04 E(\text{pr}) + 1.250e + 00 E(\text{np}) - 2.230e + 05 E(\text{prob}) \\ + 2.967e + 04 E(\text{des}) + 4.097e + 04 E(\text{dis}) - 4.317e + 03 E(\text{rem})$$

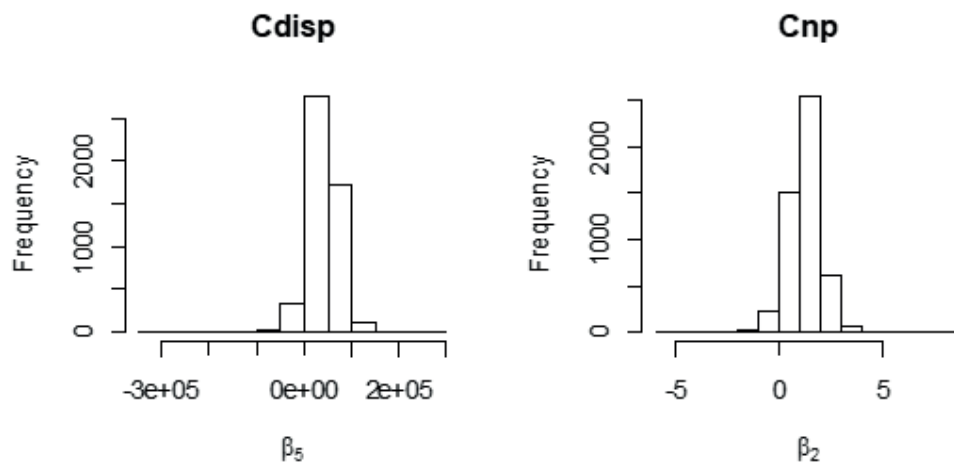
El programa R® en seguida proporciona histogramas que muestran el comportamiento de los coeficientes beta del modelo de regresión, realizando una simulación de 5000 datos a partir de una densidad posterior (figuras 19 y 20).

```

> theta.sample=blinreg(fit$y,fit$x,5000)
> S=sum(fit$residual^2)
> shape=fit$df.residual/2;rate=S/2
> sigma2=rigamma(1,shape,rate)
> MSE=sum(fit$residuals^2)/fit$df.residual
> vbeta=vcov(fit)/MSE
> beta=rmnorm(1,mean=fit$coef,varcov=vbeta*sigma2)
> par(mfrow=c(2,2))
> hist(theta.sample$beta[,2],main="Cpr",xlab=expression(beta[1]))
> hist(theta.sample$beta[,3],main="Cnp",xlab=expression(beta[2]))
> hist(theta.sample$beta[,4],main="Cprob",xlab=expression(beta[3]))
> hist(theta.sample$beta[,5],main="Cdes",xlab=expression(beta[4]))
> hist(theta.sample$beta[,6],main="Cdisp",xlab=expression(beta[5]))
> hist(theta.sample$beta[,7],main="Cnp",xlab=expression(beta[2]))

```

Figura 19. Histogramas del comportamiento de los coeficientes de las distribuciones posteriores de piezas dispuestas y nuevos productos



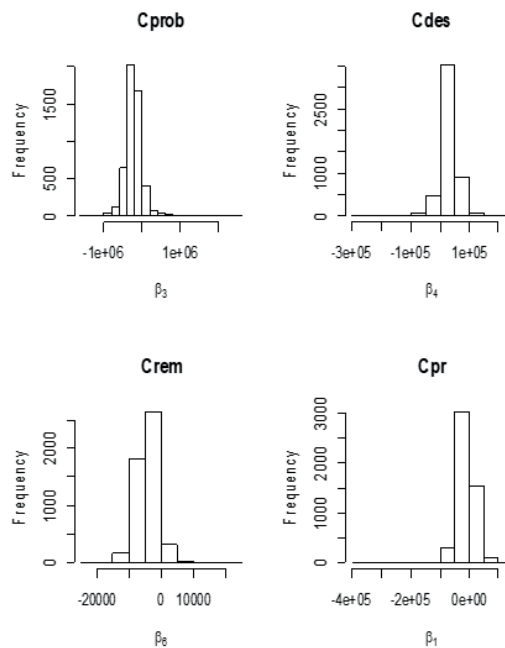
Fuente: Elaboración propia

```

mean(theta.sample$beta[,2])
[1] -10115.28
> mean(theta.sample$beta[,3])
[1] 1.254631
> mean(theta.sample$beta[,4])
[1] -225729.7
> mean(theta.sample$beta[,5])
[1] 29979.13
> mean(theta.sample$beta[,6])
[1] 41370.03
> mean(theta.sample$beta[,7])
[1] -4348.103
> var(theta.sample$beta[,2])
[1] 877576016
> sd(theta.sample$beta[,2])
[1] 29623.91
> mean(mu)
[1] 41563

```

Figura 20. Histogramas del comportamiento de los coeficientes de las distribuciones posteriores de piezas probadas, remanufacturadas, desensambladas y regresadas.



Fuente: Elaboración propia

REFERENCIAS

- Aksoy, K. (2010). *Bayesian updating of recovery rate distribution*. Eskişehir Osmangazi University, Turkey.
- Albert, J (2009). *Bayesian Computation with R* (2nd ed.). Springer-Verlag.
- Aras, N., Tamer, B. and Vedat, V. (2004). The effect of categorizing returned products in remanufacturing. *IIE Transactions*, 36(4), 319-331. DOI:10.1080/07408170490279561
- Berger, J. O. (1985). *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. Springer Verlag.
- Box, G. and Tiao, G. (1973). *Bayesian Inference in Statistical Analysis*. Wiley Classics Library.
- Cruz, C. (2011). *Maquila y remanufactura*. <https://aduanaenmexico.wordpress.com/2011/02/17/maquila-y-remanufactura/>
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a Theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, 30, 143-145.
- Gelman, A. (2002). Prior Distribution. In A. El-Shaarawi and W. Piegorisch (eds.), *Encyclopedia of Envirometrics* (vol. 3) (pp. 1634-1637).
- Gutiérrez, A. y Zhang H. (2009). Análisis bayesiano para la diferencia de dos proporciones usando R®. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 8, 50-70.
- Hamada, M., Wilson, A., Shane Reese, C. and Martz, H. (2008). *Bayesian Reliability*. Springer.
- Ijomah W. L., Childe, S. and McMahon, C. (2004). Remanufacturing: A Key Strategy for Sustainable Development. http://www.remanufacturing.org.uk/pdf/DMSD_2004_remanufacture.pdf
- Lund, R. T. (1984). Remanufacturing: The Experience of the United States and Implications for Developing Countries. *Word Bank Technical Paper*, (31).
- Quoc, L., Truc Linh, D., Chou, S. and Yu, V. (2012). Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, 39(7) 6380-6387. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.12.031
- Morales, I. (2008). Remanufactura, una nueva vida útil. <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/tendencias/remanufactura-una-nueva-vida-util>
- Rogers, D. S., Melamed, B. and Lembke, R. (2012). Modeling and Analysis of Reverse Logistics. *Journal of Business Logistics*, 33(2), 107-117. DOI: 10.1111/j.0000-0000.2012. 01043.x
- Teutner, R., Pelin, Z. and van den Heuvel, W. (2006). Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing. *International Journal of Production Research*, 44(20), 4377-4400.
- Thierry, M., Salomon, M., van Nunen, J. and van Wassenhove, L. (1995). Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*, 37(2).
- Van der Laan, E., Dekker, R., and Salomon, M. (1996). Product remanufacturing and disposal: A numerical comparison of alternative control strategies. *Int. J. Production Economics*, 45(1-3), 489-498.
- Van Wassenhove, L. and Zikopoulos, C. (2010). On the Effect of Quality Overestimation in Remanufacturing. *International Journal of Production Research*, 48(18), 5263-5280.

Se termino en septiembre 2023 en los talleres de Editorial Centro de Estudios e
Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID A.C.
Pompeya 2705, Col. Providencia, C.P. 55670, Guadalajara, Jal. México.
Teléfono: 01 (33) 1061 8187

