

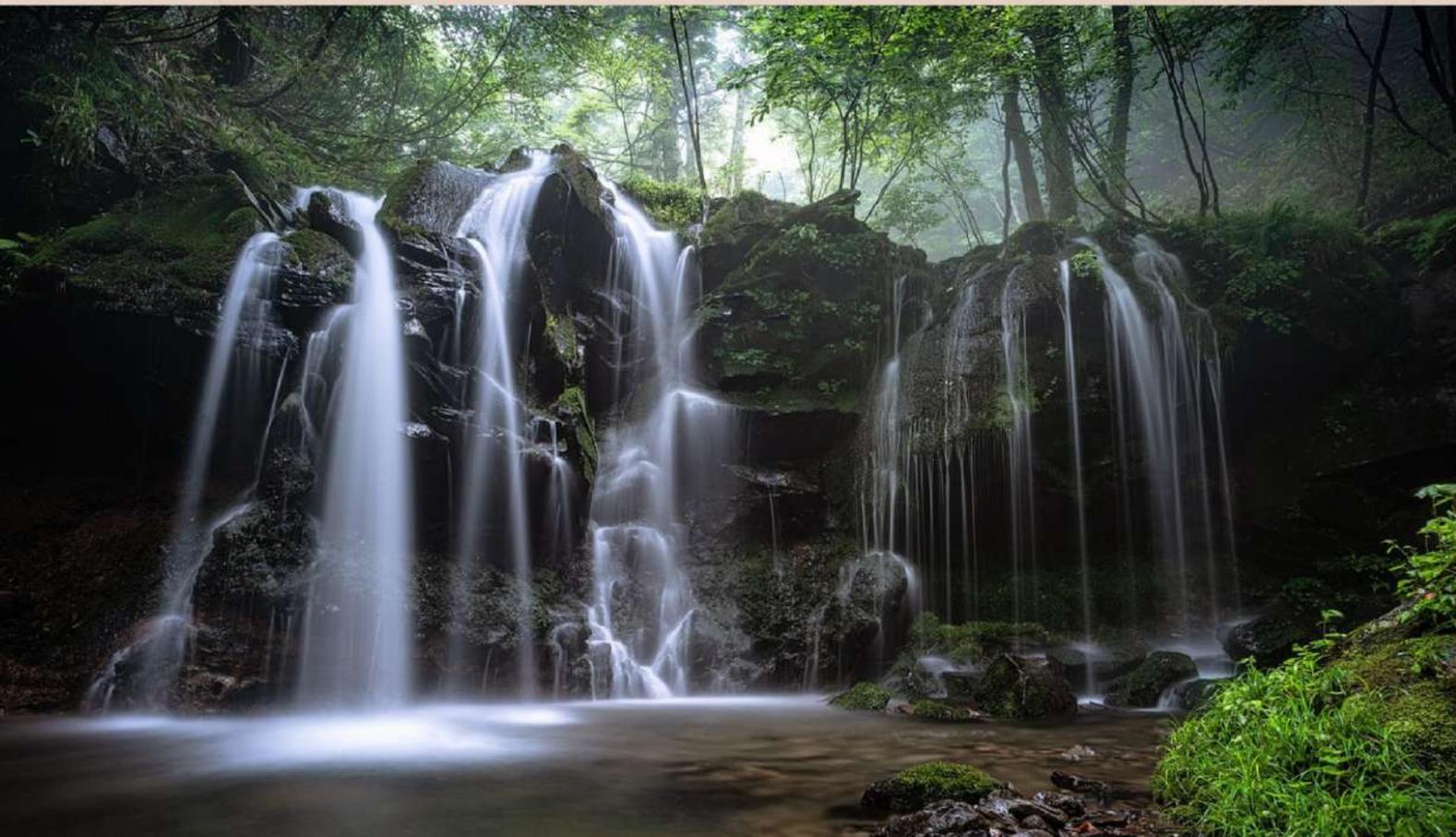
Scientia et PRAXIS

Vol. 04 No. 08-2024

eISSN 2954-4041



AMIDI
Academia Mexicana
de Investigación y Docencia
en Innovación



Scientia et PRAXIS

Volumen 04, Número 08

Julio-Diciembre 2024

eISSN: 2954-4041

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08>

-Director AMIDI-

Dr. Juan Mejía-Trejo

Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

Miembros del Consejo Editorial:

-Editor en Jefe-

Dr. Carlos Gabriel Borbón-Morales

Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-CONAHCYT) Hermosillo, Sonora

-Editor Asociado-

Dr. Carlos Omar Aguilar-Navarro.

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ-CONAHCYT), Guadalajara, Jalisco, México.

-Comité Científico-

Dr. Guillermo Peinado

Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fé, Argentina.

Dr. Claudia De-Fuentes.

Saint Mary's University, Halifax, Nova Scotia, Canadá

Dr. Jaime Antero Arango-Marin.

Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Antioquía, Colombia

Dr. Abu Waheeduzzaman

Texas. A&M University-Corpus Christi, EUA.

Dr. Ángel Rodríguez-Bravo.

Asociación Científica para la Evaluación y Medición de los Valores Humanos (AEVA), Barcelona, España

Dra. Norminanda Montoya-Vilar. ORCID.

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Dra. Antonia Madrid-Guijarro.

Dr. Domingo García-Pérez de Lema.

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Dra. Laura Nieves -Sierra García.

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España.

Dr. Jiachen Hou

University of Bradford. UK.

Dr. Yari Borbón-Gálvez

Universita Carlo Cattaneo: Castellanza, Lombardia, Italia.

Dr. Miguel Ángel Martínez-Téllez

Dr. José Angel Vega-Noriega

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-CONAHCYT), Hermosillo, Sonora, México

Dr. Ramón Jaime Holguín-Peña

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (CIBNOR-CONAHCYT). La Paz, Baja California Sur, México

Dr. Gerardo Rodríguez-Barba

Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro especializado en Manufactura Avanzada y Procesos Industriales (CIATEQ-CONAHCYT). Guadalajara, Jalisco, México

Dr. Enrique Saldívar-Guerra

Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA-CONAHCYT), Saltillo, Coahuila, México

Dra. Paulina Elisa Lagunes-Navarro

Centro de Investigación e Innovación en TIC (INFOTEC-CONAHCYT), Ciudad de México, México

Dra. América Berenice Morales-Díaz

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad (CINVESTAV) Saltillo, Coahuila, México

Dra. Clara Galindo-Sánchez

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE-CONAHCYT), Baja California, México

Dr. Antonio Aguilera-Ontiveros

Colegio de San Luis (COLSAN-CONAHCYT), San Luis de Potosí, San Luis Potosí, México

Dr. Yanga Villagomez-Velázquez

Colegio de Michoacán (COLMICH-CONAHCYT), Zamora, Michoacán, México

Dr. Héctor Medina-Miranda

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS-CONAHCYT), Guadalajara, Jalisco, México

Dr. José Tuxpan-Vargas

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT-CONAHCYT). San Luis Potosí, San Luis Potosí

Dr. Miguel Eduardo Equihua-Zamora

Instituto de Ecología (INECOL-CONAHCYT) Xalapa, Veracruz, México

Dr. Luis Sáenz-Carbonell

Centro de Investigación Científica de Yucatán (CYCY-CONAHCYT) Merida, Yucatan, México

Dr. Alejandro Morón-Ríos

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR-CONAHCYT), Campeche, Campeche, México

Dr. Jorge Castañeda Zavala

Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora (CONAHCYT) Ciudad de México, México

Dra. María del Rosio Barajas-Escamilla

El Colegio de la Frontera Norte (COLEF-CONAHCYT), Tijuana, Baja California, México

Dra. Helena Cotler

CentroGeo (CONAHCYT), Ciudad de México, México

Dra. Elia Marum Espinosa (CUCEA-Cátedra UNESCO).

Dr. César Omar Mora-Pérez (CUCEA).

Dr. Antonio Ruiz-Porras (CUCEA).

Dr. Jaime Antonio Preciado-Coronado (CUCSH).

Universidad de Guadalajara (UdeG), Guadalajara, Jalisco, México.

Dr. Héctor González-Ocampo.

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR). Instituto Politécnico Nacional (IPN). Guasave, Sinaloa, México.

Scientia et PRAXIS

Dr. Eduardo Morales-Sánchez.

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología
Avanzada (CICATA), Querétaro, Querétaro, México.

Dra. Emma Regina Morales García de Alba.

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
(ITESO). Guadalajara, Jalisco, México.

Carta Editorial

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (**AMIDI**) a través del Consejo Editorial de la revista **Scientia et PRAXIS** en el **Volumen 04, Número 08**, correspondiente al período de **Julio-Diciembre de 2024**, como edición regular, presenta trabajos científicos originales e inéditos en el ámbito de cómo la actividad multidisciplinar es un impulsor de la innovación para lograr el desarrollo sostenible con incidencia social, destacando contribuciones tanto al campo del conocimiento (*Scientia*) como en el de aplicación (*Praxis*). De esta forma, son presentados en esta edición, los siguientes artículos:

- 1. Rendimiento Económico de las Prácticas de Ecoinnovación.** Este artículo explora cómo las estrategias empresariales verdes y las prácticas de ecoinnovación en las **MIPYMES** manufactureras impactan positivamente en el rendimiento económico y la sostenibilidad ambiental. Aporta al desarrollo sostenible al demostrar la viabilidad económica de integrar objetivos ambientales estratégicos.
- 2. La Mediación de Impulsores y Prácticas para Superar las Barreras a la Economía Circular.** Presenta un análisis de cómo los impulsores y prácticas permiten a las **PYMES** manufactureras desarrollar capacidades en economía circular, superando barreras económicas y tecnológicas. Su enfoque multidisciplinario fomenta una transición efectiva hacia modelos circulares, contribuyendo a los **ODS**.
- 3. Integración del Modelo ARIMA con Prácticas Sostenibles para Pronosticar el Precio del Maíz en México.** Este trabajo combina modelado econométrico y sostenibilidad para pronosticar precios del maíz, ayudando a diseñar políticas agrícolas más informadas y resilientes. Contribuye a la seguridad alimentaria (**ODS 2**) y reducción de pobreza (**ODS 1**).

Scientia et PRAXIS

4. **Fomento del Desarrollo Sostenible a través de la Innovación Social.** Examina cómo los valores culturales influyen en las intenciones emprendedoras de estudiantes universitarios, destacando la importancia de la cultura para fomentar la innovación social y educativa, alineada con los **ODS 4, 8 y 9**.
5. **Factores de Influencia en la Innovación Regional de México para el Crecimiento Sostenible.** Analiza los factores que impulsan la innovación regional en México desde 1993 a 2020, destacando el papel de la educación y las tecnologías en el crecimiento inclusivo y sostenible, contribuyendo a los **ODS 8 y 9**.
6. **Estrategias de Innovación para el Desarrollo Sostenible en Universidades Públicas.** Estudia cómo el engagement laboral y los comportamientos cívicos en universidades públicas promueven la innovación administrativa y educativa, contribuyendo a la formación de instituciones eficaces e inclusivas (**ODS 4 y 16**).
7. **Innovación Sostenible en Elastómeros Poliolefínicos.** Desarrolla un modelo predictivo que optimiza el diseño de espumas poliolefínicas, reduciendo desperdicios y promoviendo la sostenibilidad industrial. Este trabajo apoya los **ODS 9, 12 y 13** al integrar innovación y sostenibilidad.

Estos artículos reflejan una contribución significativa al desarrollo sostenible desde perspectivas innovadoras y multidisciplinarias.

Los autores, las autoridades de la **AMIDI** y el Consejo Editorial de la revista científica **Scientia et PRAXIS** que participaron en esta obra desean que los lectores encuentren información accesible y útil para sus propósitos. Asimismo, los invitan a convertirse en autores para futuras ediciones como esta, en las que se analizan y presentan los problemas de nuestro país y sus posibles soluciones.

Editorial Letter

The Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (AMIDI), through the Editorial Board of the journal **Scientia et PRAXIS**, in **Volume 04, Issue 08**, corresponding to the **July-December 2024** period as a regular edition, presents original and unpublished scientific works on how multidisciplinary activity serves as a driver of innovation to achieve sustainable development with social impact. This edition highlights contributions to both the field of knowledge (*Scientia*) and its application (*Praxis*). Accordingly, the following articles are presented in this issue:

- 1. Economic Performance of Eco-Innovation Practices.** This article explores how green business strategies and eco-innovation practices in manufacturing **MSMEs** positively impact economic performance and environmental sustainability. It contributes to sustainable development by demonstrating the economic feasibility of integrating strategic environmental objectives.
- 2. The Mediation of Drivers and Practices to Overcome Barriers to the Circular Economy.** This study analyzes how drivers and practices enable manufacturing **SMEs** to develop capabilities in the circular economy, overcoming economic and technological barriers. Its multidisciplinary approach fosters an effective transition to circular models, contributing to the Sustainable Development Goals (**SDGs**).
- 3. Integration of the ARIMA Model with Sustainable Practices to Forecast Corn Prices in Mexico.** This work combines econometric modeling and sustainability to forecast corn prices, aiding in the design of more informed and resilient agricultural policies. It contributes to food security (**SDG 2**) and poverty reduction (**SDG 1**).
- 4. Promoting Sustainable Development through Social Innovation**
This paper examines how cultural values influence entrepreneurial intentions among university students, highlighting the importance of culture in fostering social and educational innovation, aligned with **SDGs 4, 8, and 9**.

Scientia et PRAXIS

5. Factors Influencing Regional Innovation in Mexico for Sustainable Growth

This analysis identifies factors driving regional innovation in Mexico from 1993 to 2020, emphasizing the role of education and technology in inclusive and sustainable growth, contributing to **SDGs 8 and 9**.

6. Innovation Strategies for Sustainable Development in Public Universities

This study examines how workplace engagement and civic behaviors in public universities promote administrative and educational innovation, contributing to the formation of effective and inclusive institutions (**SDGs 4 and 16**).

7. Sustainable Innovation in Polyolefin Elastomers.

This work develops a predictive model optimizing the design of polyolefin foams, reducing waste and promoting industrial sustainability. It supports **SDGs 9, 12, and 13** by integrating innovation and sustainability.

These articles reflect a significant contribution to sustainable development through innovative and multidisciplinary perspectives.

The authors, **AMIDI** authorities, and the Editorial Board of the scientific journal **Scientia et PRAXIS** involved in this work aspire for readers to find accessible and practical information suited to their purposes. Additionally, they encourage readers to become contributors to future editions like this one, where the challenges facing our country and their potential solutions are analyzed and posed.

Dr. Juan Mejía-Trejo

Director
Academia Mexicana de
Investigación y Docencia en
Innovación (**AMIDI**)
Zapopan, Jalisco, México
Diciembre 2024, Zapopan, Jalisco,
México

Dr. Carlos G. Borbón-Morales

Editor en Jefe
Academia Mexicana de
Investigación y Docencia en
Innovación (**AMIDI**)
Zapopan, Jalisco, México
Diciembre 2024, Zapopan, Jalisco,
México

Contenido *Content*

- 1** Rendimiento Económico de las Prácticas de Ecoinnovación en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas Manufactureras
Economic Performance of Eco-innovation Practices in Micro, Small and Medium-Sized Manufacturing Enterprises
Ma. Mónica Gloria Clara Castillo-Esparza
Gonzalo Maldonado-Guzmán
Juan Mejía-Trejo
María del Carmen Martínez-Serna
- 28** La Mediación de Impulsores y Prácticas para Superar las Barreras a la Economía Circular
The Mediation of Drivers and Practices to Overcome Barriers to the Circular Economy
Victor Manuel Molina-Morejón
Gonzalo Maldonado-Guzmán
Laura Fernández-Contreras
- 63** Integrating the ARIMA Model with Sustainable Practices to Forecast Corn Prices in Mexico
Integración del Modelo ARIMA con Prácticas Sostenibles para Pronosticar el Precio del Maíz en México
Leo Guzman-Anaya
- 96** Fostering Sustainable Development Through Social Innovation: The Role of Cultural Values in Entrepreneurial Intentions
Fomento del Desarrollo Sostenible a través de la Innovación Social: El Rol de los Valores Culturales en la Intenciones Emprendedora
Pedro Daniel Aguilar-Cruz.
Alejandro Campos-Sánchez
- 127** Factores de influencia en la innovación regional de México para el crecimiento sostenible: Un análisis de 1993 a 2020 y perspectivas futuras
Factors influencing regional innovation in Mexico for sustainable growth: An analysis from 1993 to 2020 and future perspectives
Vicente Germán-Soto
Denysse De Los Santos-Estrada

- 160** Estrategias de Innovación para el Desarrollo Sostenible: Engagement Laboral y Conductas Cívicas Organizacionales en Universidades Públicas de Zacatecas
Innovation Strategies for Sustainable Development: Work Engagement and Organizational Civic Behaviors in Public Universities of Zacatecas
José Iván Padilla-Lugo
José Roberto González-Hernández
- 192** Innovación Sostenible en Elastómeros Poliolefinicos: Modelo Predictivo para Dureza, Índice de Fluidez y Expansión en Espumas Reticuladas
Sustainable Innovation in Polyolefin Elastomers: Predictive Model for Hardness, Melt Flow Index and Expansion in Cross-linked Foams
Raúl Javier Orea-Monroy
José Fernando Guillén-Guzmán

Scientia et PRAXIS

Vol.04.No.08. Jun-Dic (2024): 1-27

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a1>

eISSN: 2954-4041

Rendimiento Económico de las Prácticas de Ecoinnovación en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas Manufactureras

Economic Performance of Eco-innovation Practices in Micro, Small and Medium-Sized Manufacturing Enterprises

Ma. Mónica Gloria Clara Castillo Esparza. ORCID: [0000-0003-3330-8741](https://orcid.org/0000-0003-3330-8741)

Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), Aguascalientes, Aguascalientes, México

email: al266361@edu.uaa.mx

Gonzalo Maldonado-Guzmán. ORCID: [0000-0001-8814-6415](https://orcid.org/0000-0001-8814-6415)

Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), Aguascalientes, Aguascalientes, México

email: gonzalo.maldonado@edu.uaa.mx

Juan Mejía-Trejo. ORCID: [0000-0003-0558-1943](https://orcid.org/0000-0003-0558-1943)

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA)

Universidad de Guadalajara (UdeG), Guadalajara, Jalisco, México

email: jmejia@ucea.udg.mx

María del Carmen Martínez-Serna. ORCID: [0000-0002-9704-3853](https://orcid.org/0000-0002-9704-3853)

Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), Aguascalientes, Aguascalientes, México

email: carmen.martinezs@edu.uaa.mx

Palabras Clave: prácticas de ecoinnovación, producción sustentable, estrategia empresarial verde, Mipymes

Keywords: eco-innovations practices, sustainable production, green business strategy, MSMEs

Received: 20-Mar-2024; **Accepted:** 1-Jul-2024

RESUMEN

Contexto. Limitados recursos naturales presionan todos los sistemas (económicos, sociales, y ambientales) para satisfacer las necesidades de la población mundial. Así, una producción más sustentable en empresas manufactureras garantiza la protección al medio ambiente.

Objetivo. Conocer los beneficios económicos en micros, pequeñas y medianas empresas (**Mipymes**) de la industria manufacturera al implementar prácticas de ecoinnovación. Analizar la influencia de la Estrategia Empresarial Verde (**EV**) sobre prácticas de ecoinnovación.

Problema. Las empresas manufactureras deben proveer rendimiento económico a los stakeholders a la vez que deben proteger el medioambiente al incluir objetivos ambientales estratégicos.

Metodología. Las **Mipymes** de la industria manufacturera (sector automotriz, aeroespacial, electrónico, alimentos y bebidas, textil, químico, acero y metales, maquinaria y equipos, y dispositivos médicos) en Aguascalientes, México fueron seleccionadas por su alta participación en la economía. Se eligió un nivel de confianza del 95% y un margen de error de $\pm 5\%$. Se encuestó a 300 gerentes de enero a julio de 2021, se utilizó una escala tipo Likert. La técnica conllevó el uso de ecuaciones estructurales y los mínimos cuadrados parciales mediante el programa **PLS-SEM 3.2.9**.

Hallazgos Teóricos y Prácticos. La **EV** impacta en prácticas de ecoinnovación y, a su vez, estas influyen positivamente en los beneficios económicos. Al implementar prácticas de ecoinnovación a nivel estratégico, resulta más fácil lograr ganancias que contribuyan al desarrollo sostenible del sector.

Originalidad basada en un enfoque multidisciplinario que promueve la innovación para el desarrollo sostenible. La investigación contribuye a la gestión estratégica ambiental y a la producción sustentable en la industria manufacturera nacional.

Conclusiones y limitaciones. Las **Mipymes** manufactureras brindan beneficios económicos y protegen el medio ambiente al implementar una **EV** y prácticas de ecoinnovación. El estudio debe replicarse por subsectores para corroborar resultados similares.

ABSTRACT

Context. The urgent and pressing issue of depleting natural resources exerts significant pressure on all systems (economic, social, environmental) to meet the needs of the world's population. Therefore, the promotion of more sustainable production in manufacturing companies is not just a choice, but a necessity for the care and protection of our environment.

Purpose. To shed light on the significant role that micro, small, and medium-sized enterprises (MSMEs) in the manufacturing industry can play in promoting sustainable production through the implementation of eco-innovation practices. Additionally, to analyze the influence of the Green Business Strategy on these eco-innovation practices.

Problem. Manufacturing companies must provide economic performance to stakeholders while protecting the environment by including strategic environmental goals.

Methodology. The MSMEs in the manufacturing industry (automotive, aerospace, electronics, food and beverage, textile, chemical, steel and metals, machinery and equipment, and medical devices sectors) in Aguascalientes, Mexico, were selected for their high economic participation. A confidence level of 95% and a margin of error of $\pm 5\%$ were chosen. Three hundred managers were surveyed using a Likert scale from January to July 2021. The technique involved the use of structural equations and partial least squares, a statistical method for modeling complex relationships, using the **PLS-SEM 3.2.9** program.

Theoretical and Practical Findings. The Green Business Strategy (GBS) impacts eco-innovation practices, and in turn, these positively influences economic benefits. By implementing eco-innovation practices at a strategic level, it becomes easier to achieve gains that contribute to the sector' sustainable development.

Originality based on a multidisciplinary approach that promotes innovation for sustainable development. The research contributes to environmental strategic management and sustainable production in the national manufacturing industry.

Conclusions and limitations. The MSMEs provide economic benefits and protect the environment by implementing a GBS and eco-innovation practices. Subsectors should replicate the study to confirm whether the results still are similar.

1. INTRODUCCIÓN

El Desarrollo Sustentable busca equilibrar todos los sistemas del planeta, garantizando la inclusión de aspectos fundamentales (ambiental, económico y social) para proporcionar bienestar y prosperidad (GRI et al., 2015; ONU, 2021). Por ello, se han fijado objetivos de carácter internacional para el 2030, promoviendo acciones, mecanismos y estrategias respaldados por gobiernos, empresas y sociedad en general (ONU, 2021). El papel de las empresas es crucial, ya que contribuyen a la construcción de mercados y sociedades más sostenibles, al tiempo que aprovechan nuevas oportunidades de negocio y gestionan los impactos adversos de sus actividades, lo cual mejora las relaciones con los stakeholders (GRI et al., 2015). En este sentido, en América Latina a pesar de los retos estructurales que enfrentan las empresas del sector productivo deben transitar hacia objetivos ambientales que abonen a la sustentabilidad (Rovira et al., 2017; SEMARNAT, 2018). Por lo que, las organizaciones deben adaptarse e innovar para enfrentar nuevos desafíos y ser más competitivas (Mejía-Trejo, 2023).

Precisamente, en este entorno dinámico, la **EV** emerge como un enfoque estratégico que integra metas ambientales en las gerencias de las empresas, permitiendo una mayor alineación de actividades de tipo ambiental en todas las áreas (Banerjee, 2002; Bıçakcıoğlu et al., 2020; Olayeni et al., 2021). Además, mantiene el enfoque en el desarrollo de productos y procesos que disminuyen la contaminación (Banerjee, 2002). En igual sentido, las prácticas de ecoinnovación fomentan el uso de material ecológico, el tratamiento de aguas residuales, certificaciones ambientales y el entrenamiento en ecoinnovaciones para reducir la contaminación (Hojnik et al., 2014). Asimismo, la **EV** puede fungir como promotora de las prácticas de ecoinnovación (Saether et al., 2021; Sanni, 2018), pues trabajan hacia metas en común. Por lo que, una mayor eficiencia de los recursos y reducciones en la contaminación y consumo de energía derivan de prácticas innovadoras dentro de las industrias (Rovira et al., 2017).

Los temas ambientales no se limitan a las grandes empresas, sino que también son relevantes para las **Mipymes**. Por ello, esta investigación analiza a las **Mipymes** manufactureras del estado de Aguascalientes, México, y su adopción de cuestiones ambientales a nivel estratégico mediante la EV. Asimismo, también se estudia el impacto de la **EV** en las prácticas de ecoinnovación y explora el rendimiento económico derivado de estas prácticas en un intento por aclarar tal relación. Así, se aborda el dilema de proteger el medio ambiente, y al mismo tiempo,

obtener ganancias para los stakeholders (Olayeni et al., 2021). Aunque existe evidencia empírica de la relación entre la **EV** y las prácticas de ecoinnovación (Ashraf et al., 2024; Saether et al., 2021; Yahya et al., 2022), así como del impacto en las prácticas de ecoinnovación en el rendimiento económico (Barriga et al., 2022; Miroshnychenko et al., 2017; Rodríguez-González et al., 2022), se necesitan más estudios en el país que aborden cuestiones ambientales para sustentar la toma de decisiones (Ortiz, 2019; Rodríguez-González et al., 2022).

Los resultados de esta investigación muestran una influencia significativa de la **EV** sobre las prácticas de ecoinnovación y, a su vez, el impacto de éstas en el rendimiento económico, incentivando a los gerentes de empresas manufactureras a asumir el reto y la oportunidad de implementar metas ambientales dentro de sus estrategias. Esto les permite lograr cambios significativos, no solo en beneficio del rendimiento económico empresarial sino también en la protección y cuidado medioambiental. Ahora bien, el fomento y promoción de objetivos de protección ambiental, sumado a la regulación de actividades productivas contaminantes deben ser temas prioritarios en las agendas de gobiernos de todos los niveles. También, la participación de los diversos stakeholders de las empresas manufactureras y de la sociedad en general juegan un rol importante para exigir acciones de mayor responsabilidad por parte del sector. En consecuencia, al colaborar a la sustentabilidad de la industria se trabaja también a favor de metas globales de Desarrollo Sustentable. Este estudio contribuye a la gestión estratégica empresarial y abona al conocimiento científico en sustentabilidad de las variables analizadas en la industria manufacturera de un país en vías de desarrollo. La cuestión que guía esta investigación es ¿Cómo impacta la **EV** en las prácticas de ecoinnovación de las **Mipymes** manufactureras para proporcionar beneficios económicos?

2. CONTEXTUALIZACIÓN

El impacto de las actividades empresariales sobre el medio ambiente natural ha sido foco de atención desde hace varias décadas, involucrando análisis ininterrumpidos a través de diferentes perspectivas como disciplinas (Banerjee, 2002; Janahi et al., 2021). De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), en 2020 el sector industrial consumía casi el 40% de la energía a nivel global. Por lo tanto, la industria no solo es una de las principales contaminantes del medio ambiente, sino también una gran consumidora de recursos

naturales (IEA, 2021). En este contexto, las empresas se han visto forzadas a realizar cambios significativos en sus procesos de producción para beneficiar al medio ambiente (Maldonado-Guzmán y Pinzón-Castro, 2023). Además, la alta participación de las **Mipymes** a nivel global, representando más del 90% en el tejido empresarial, su fuerte impacto en la creación de empleo (60-70%) y en la economía (50% del PIB mundial), las hace fundamentales en la consecución de un desarrollo sustentable (ONU, 2024). Por ello, hoy más que nunca, debido a cambios importantes en los ecosistemas medioambientales y una población en constante aumento, se requieren acciones y objetivos que involucren estrategias e innovación en las **Mipymes** manufactureras para mitigar sus efectos adversos.

En este sentido, a nivel nacional, la industria manufacturera destaca por su contribución al PIB, aportando el 18% del total en el año 2022 (Statista, 2023). Sin embargo, la industrialización, urbanización y la participación en cadenas globales de suministro por parte de países emergentes como México provocan una mayor demanda de recursos naturales del sector industrial (IEA, 2021). En el país, ya desde finales del siglo pasado, a medida que aumentaban la industrialización, la población y el PIB, también crecían los residuos sólidos, las emisiones de CO₂, las descargas de aguas residuales industriales y la pérdida de superficies de bosques y selvas (SEMARNAT, 2018). No obstante, la industria en el país ha experimentado cambios significativos respecto al consumo y la producción principalmente debido a los nuevos mercados internacionales con requerimientos ambientales exigidos por diversos stakeholders (Maldonado-Guzmán y Pinzón-Castro, 2023; Rodríguez-González et al., 2022). Por lo tanto, las empresas como los gobiernos deben promover entornos innovadores en el país (Castillo-Esparza et al., 2022) que impulsen la adopción de metas ambientales desde las estrategias de las Mipymes manufactureras. De igual manera, se necesita más evidencia empírica que muestre los resultados de tales estrategias y objetivos ambientales (Maldonado et al., 2020; Ortiz, 2019).

Por otro lado, en el estado de Aguascalientes, de acuerdo con las cifras definitivas del Censo Económico 2019, las Mipymes conforman casi la totalidad del tejido empresarial, representando el 99.7% (INEGI, 2020), lo que evidencia la gran influencia que mantienen en la vida local. De igual manera, la industria manufacturera es una parte importante de la vida económica estatal, ya que en 2021 fue la que más aportó al PIB con un 33% (INEGI, 2022). Asimismo, el estado ha experimentado un aumento notable en la inversión extranjera (Gobierno de México, 2024) debido

principalmente a la llegada de nuevas empresas que integran en su cadena de proveeduría a las **Mipymes**. Como resultado, las **Mipymes** de la industria manufacturera local enfrentan desafíos y retos para integrarse, no sólo respecto a la adopción de objetivos y estrategias ambientales en sus actividades cotidianas, sino también en la generación de beneficios económicos para los stakeholders. Por lo tanto, la adopción de metas y estrategias que contribuyan a la sustentabilidad de la industria manufacturera y al desarrollo sustentable debe orientarse a una mayor eficiencia energética y de materiales, así como al fomento de la innovación y el uso de tecnologías (IEA, 2021).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

El presente apartado engloba la revisión de investigaciones empíricas previas y de organismos y o instituciones que brindan información pertinente a las variables de estudio. Así, se abordan las variables analizadas desde diferentes perspectivas ya sea desde su conceptualización, aplicación y efectos de su implementación, otorgando un contexto específico al análisis. También, focaliza la atención en las relaciones propuestas generando con ello las hipótesis de investigación a contrastar. Además, se presenta el modelo teórico que muestra de manera gráfica las relaciones entre variables.

3.1. Estrategia Empresarial Verde y Ecoinnovación

Las cuestiones ambientales se han vuelto de gran interés dentro de la actividad industrial, ya que derivado de las actividades productivas, el medio ambiente sufre impactos negativos como la contaminación de agua, aire y suelo, y el uso exacerbado de recursos y de materiales contaminantes (Kraus et al., 2020; SEMARNAT, 2018). No obstante, Rovira et al. (2017) señalan que la industria puede aplicar estrategias para limitar la contaminación y reducir los recursos entrantes por medio de prácticas innovadoras y tecnologías. En este sentido, la **EV** de acuerdo con Banerjee (2002) establece objetivos ambientales a nivel estratégico con enfoque en procesos y productos. Así, las empresas que adoptan una **EV** brindan valor agregado a sus diversos stakeholders (Ashraf et al., 2024; Le, 2022). Por otro lado, Hojnik et al. (2014) señala que al realizar cambios con orientación ambiental en productos, procesos, marketing o en la organización se generan ecoinnovaciones, las cuales optimizan el uso de recursos y disminuyen

el impacto ambiental, elevando con ello la calidad de los productos y servicios ofertados (Sanni, 2018).

Ahora bien, la **EV** aborda metas ambientales en el proceso de decisión estratégico lo cual favorece su implementación y ejecución en toda la organización (Bıçakcıoğlu et al., 2020; Olayeni et al., 2021), pero su impacto depende del grado de implementación (Lin et al., 2021), a lo que, Maldonado et al. (2020) enfatizan que la ecoinnovación es una herramienta esencial dentro de los sistemas productivos que buscan disminuir efectos adversos. También, Rovira et al. (2017) argumentan que la ecoinnovación reduce el consumo de recursos, de energía, y de contaminación, brindando con ello una mayor eficiencia. Entonces, la **EV** y la ecoinnovación al enfocar aspectos ambientales trabajan de manera sinérgica y orgánica cuando se implementan en conjunto dentro de industrias contaminantes (Ashraf et al., 2024).

En este sentido, estudios previos en contextos internacionales muestran una relación significativa entre la **EV** y las prácticas de ecoinnovación como es el caso de Yahya et al. (2022) y Khan et al. (2021). También, Olayeni et al. (2021) comprobaron en su estudio en Nigeria que la **EV** influye en el desarrollo de productos de mayor calidad, superando así las expectativas de los clientes. Saether et al. (2021), encontraron que las empresas noruegas modificaron sus procesos para reducir emisiones contaminantes derivado de sus estrategias ambientales. Además, otra investigación en empresas manufactureras chinas identificó que aquellas que incluían a la **EV** eran exitosas al implementar ecoinnovaciones (Ashraf et al., 2024). Sin embargo, en territorio mexicano es necesaria más evidencia empírica respecto a las estrategias ambientales que integran la empresas (Maldonado et al., 2020; Ortiz, 2019). Además, se debe analizar si las prácticas de ecoinnovación son influenciadas por tales estrategias (Sanni, 2018) dentro de las empresas manufactureras mexicanas. Así, bajo los argumentos anteriores se plantea la **hipótesis 1 (H1)**:

***H1:** La EV influye significativamente en la adopción de prácticas de ecoinnovación en empresas manufactureras mexicanas*

3.2. Ecoinnovación y el Rendimiento Económico

El Desarrollo Sustentable de las naciones implica enfoques holísticos en todo los sistemas, donde los productivos pueden contribuir enormemente a ello. En este sentido, la Comisión

Europea señala a la ecoinnovación como esencial en la protección ambiental y el desarrollo sustentable entre sus países miembro (Al-Ajlani et al., 2021). A pesar de que en contextos internacionales la ecoinnovación es objeto de interés y aplicación creciente en las últimas décadas (Salazar-Soto y Pinzón-Castro, 2023), aún persiste el dilema económico respecto si las innovaciones de tipo ambiental resultan en ganancias monetarias en la industria. Así, el mundo empresarial mantiene el enfoque en el rendimiento económico derivado de tales prácticas (Rovira et al., 2017). Por lo que, la ecoinnovación ha adquirido importancia dentro de las empresas manufactureras tanto para otorgar beneficios ambientales como económicos (Janahi et al., 2021).

Bajo este contexto, las **Mipymes** a pesar de tener recursos limitados deben brindar bienestar en varios aspectos (ambiental, económico y social) a sus stakeholders (Le, 2022). Sin embargo, los costos altos al adoptar prácticas verdes en la producción fungen como una barrera para su adopción, principalmente en industrias con alta competitividad (Ashton et al., 2017). Por lo que, las empresas manufactureras al buscar una mayor eficiencia de recursos entrantes, reducir la contaminación y el consumo de energía efectúan ecoinnovaciones dentro de sus procesos productivos (Maldonado et al., 2020; Rodríguez-González et al., 2022; Sanni, 2018). Entonces, las empresas antes de implementar cuestiones ambientales deben considerar efectos no esperados del rendimiento o desempeño (Bıçakcıoğlu et al., 2020; Olayeni et al., 2021). Al respecto, Leonidou et al. (2013) asocian el rendimiento o desempeño económico con incrementos en volumen de ventas, utilidades, flujos de efectivo, inversiones, entre otros.

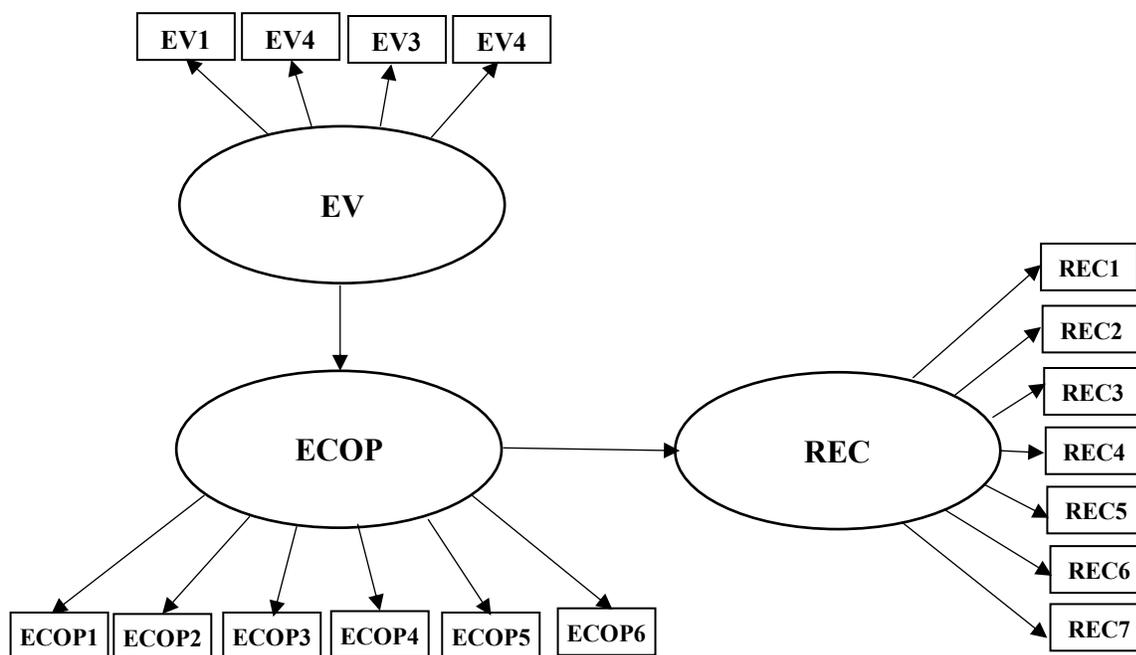
Miroshnychenko et al. (2017), muestran evidencia empírica en su estudio longitudinal sobre las prácticas de ecoinnovación enfocadas en la prevención de contaminación y la gestión de la cadena de suministro, encontraron una influencia favorable en ganancias económicas pero no en el desarrollo de nuevos productos, verificaron también una influencia negativa en la implementación de certificaciones de sistemas ambientales (ISO 14001). También, Sezen y Çankaya (2013) identificaron que la ecoinnovación en productos de empresas turcas no impactaba en el rendimiento económico, sin embargo, cambios en los procesos sí lograban este cometido.

Por otro lado, Barriga et al. (2022), observaron en Latinoamérica que ecoinnovaciones introducidas en la organización y en los procesos, influían significativamente en los beneficios económicos, pero el desarrollo de productos no lo hacía. En México, Rodríguez-González et al. (2022) verificó un impacto positivo de las prácticas de ecoinnovación sobre el rendimiento

económico dentro de la industria automotriz. Sin embargo, los resultados pueden diferir ya sea por el enfoque, el sector o tipo de ecoinnovación adoptada como por su grado de implementación (Sezen y Çankaya, 2013). Bajo los anteriores argumentos se enuncia la **hipótesis 2 (H2)** y se presenta en la **Figura 1** el modelo teórico de investigación:

H2: Las prácticas de ecoinnovación en empresas manufactureras mexicanas influyen de manera positiva y significativa en el rendimiento económico

Figura 1. Modelo teórico de investigación



Notas: EV. Estrategia Empresarial Verde; ECOP. Prácticas de Ecoinnovación; REC. Rendimiento Económico.
Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

Esta investigación es de enfoque empírico para abordar los objetivos, hipótesis y la pregunta inicial de investigación planteados. Se consultó el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) para conocer la población de empresas en el sector manufacturero en el estado de Aguascalientes, México, la cual se determinó que era de 1427 para el año 2021. Se utilizó un nivel de confianza del 95% y un error máximo del 5%.

Del total de la población, se excluyeron las grandes empresas, ya que el enfoque de la investigación está en la adopción de acciones ambientales en las **Mipymes** manufactureras y sus beneficios económicos. La muestra consiste en 300 encuestas que fueron autoadministradas a gerentes o propietarios de empresas, seleccionadas mediante un muestreo aleatorio simple. La encuesta se llevó a cabo de enero a julio de 2021 y fue acompañada por una carta que describía el uso de la información y garantizaba la confidencialidad y privacidad de esta.

4.1 Variables

La medición de las variables se llevó a cabo utilizando escalas tomadas de estudios anteriores en la literatura analizada. La escala para evaluar la Estrategia Empresarial Verde se basó en el estudio de Banerjee (2002) y consta de 4 ítems. Asimismo, la medición de las prácticas de Ecoinnovación se fundamentó en el trabajo de Hojnik et al. (2014), que incluye 6 ítems. Por otro lado, el rendimiento económico se evaluó utilizando la escala propuesta por Leonidou et al. (2013), la cual comprende 7 ítems. Todas las mediciones se realizaron mediante una escala tipo Likert, donde 1 representa "totalmente en desacuerdo" y 5, "totalmente de acuerdo".

4.2 Análisis

El análisis de la información se realizó mediante la técnica de ecuaciones estructurales y los mínimos cuadrados parciales (**PLS-SEM** por sus siglas en inglés), se utilizó el programa SmartPLS 3.2.9. Esta técnica ha ganado aceptación en el mundo de la investigación en las últimas décadas pues permite relaciones causales-predictivas (Hair et al., 2021). Además, de una amplia aplicación en áreas con teorías emergentes (Chin et al., 2020; Martínez y Fierro, 2018). Por otro lado, algunas de las características principales son; que permite datos no paramétricos, muestras pequeñas o grandes, mide constructos con un solo o múltiples ítems, uso predictivo en estudios exploratorios, y permite la elaboración de modelos complejos (Hair et al., 2021).

La aplicación de la técnica de **PLS-SEM** implica el uso de regresiones múltiples, y evalúa dos aspectos: el modelo de medida (externo) y el modelo estructural (interno). Estos modelos pueden ser formativos o reflectivos. En los modelos formativos, los ítems originan o representan el efecto de la variable latente. Por el contrario, en los modelos reflectivos, los ítems son representaciones del constructo, y la diferencia clave entre ambos modelos radica en el punto de

partida de la relación causal (Hair et al., 2021; Martínez y Fierro, 2018). Esta investigación emplea un modelo reflectivo para analizar las relaciones teóricas propuestas.

4.3 Pruebas de confiabilidad y validez

Los modelos reflectivos deben demostrar validez y confiabilidad. Así, se debe asegurar la confiabilidad de los indicadores, la consistencia interna de los constructos, la validez convergente (expresada por el Average Variance Extracted, **AVE**), y la validez discriminante (Hair et al., 2021). En este sentido, la confiabilidad del indicador muestra la comunalidad de éste y explica su varianza debido al constructo, la cual suele estar por arriba de 0.708 pues explica más del 50% de la varianza del indicador. Mientras que la consistencia interna habla de la relación entre indicadores de un mismo constructo, se utiliza la confiabilidad compuesta (**rho**) y el alfa de Cronbach, la primera por lo general se encuentra en el umbral máximo de medida y el alfa de Cronbach en el opuesto, por lo que una medida más confiable de consistencia interna es el **rho_A**.

La validez convergente habla de cómo el constructo explica la varianza de los indicadores, el **AVE** (suma de las cargas de los indicadores al cuadrado dividido entre el número de éstos) es la medida comúnmente utilizada con valores por arriba de .50. Mientras que la validez discriminante aborda la distinción entre constructos, una medida común es el criterio de Fornell y Larcker (Hair et al., 2021; Martínez y Fierro, 2018). Sin embargo, el criterio de la matriz Heterotrait-Monotrait (**HTMT**) ilustra mejor tal evaluación, valores entre 0.85 y 0.90 son considerados conservadores, por arriba de 0.90 los constructos muestran similitud exhibiendo falta de validez discriminante (Henseler et al., 2015).

Después, el siguiente paso es evaluar el modelo estructural. Hair et al. (2021) exponen cuatro pasos por asegurar; 1) la colinealidad es evaluada por el **VIF** (variance inflation factor), valores no mayores a 5 indican que la colinealidad en constructos predictores no es un problema, 2) la significancia y relevancia de los coeficientes path, los valores suelen estar entre -1 y +1, además se ejecuta el procedimiento Bootstrapping en el programa **SMART PLS-SEM 3.2.9** para el cálculo de los valores **p**, 3 y 4) el poder predictivo y explicativo del modelo, el **R²** asegura el poder predictivo al explicar la varianza explicada para cada constructo endógeno (0-1), mientras que el poder predictivo del modelo fuera de la muestra es acometido por el procedimiento de

PLSpredict. Además, se evalúan indicadores como el **SRMR**, la discrepancia de mínimos cuadrados no ponderados (**dULS**) y la discrepancia geodésica (**dG**).

5. RESULTADOS

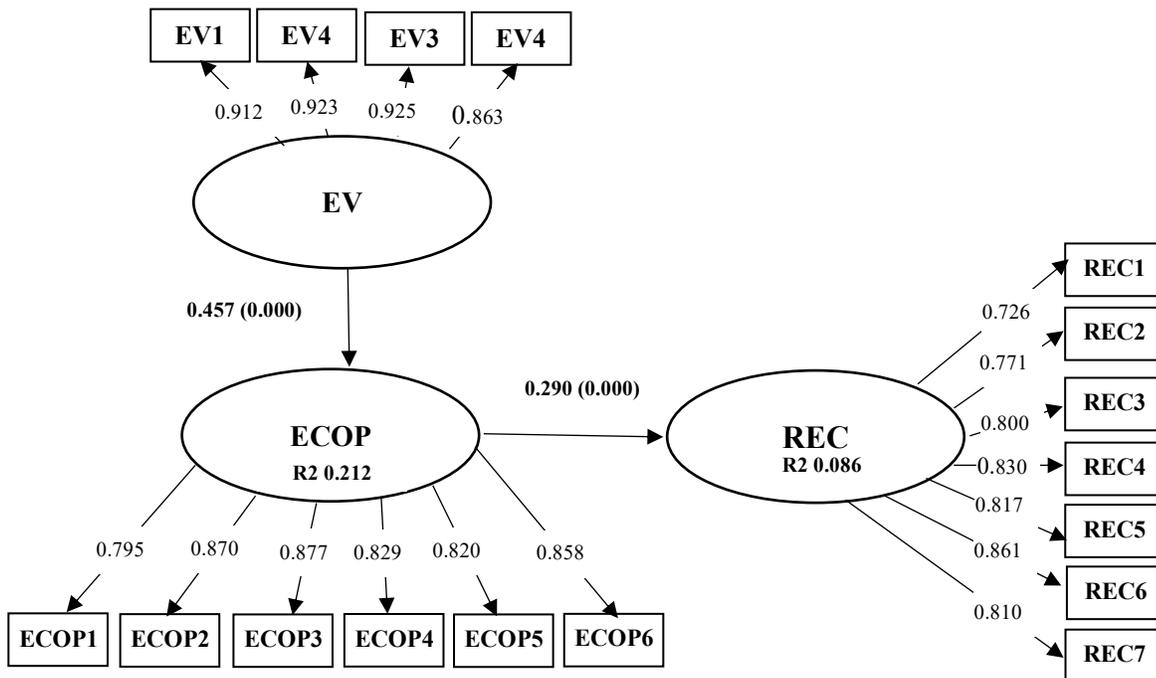
El siguiente apartado engloba los resultados del análisis, donde en un primer momento se evalúa el modelo de medida a través de la confiabilidad de los indicadores, la consistencia interna por medio del alfa de Cronbach, la Fiabilidad Compuesta y el **rho A**. Asimismo, se examina la validez convergente y discriminante de los constructos. Además, el modelo estructural se evalúa mediante el **VIF**, los coeficientes path, los valores **p**, el t estadístico y el **f²**. Se analiza el **R²** y otros indicadores que garantizan el ajuste del modelo. Finalmente, se exponen las hipótesis aceptadas y se contrastan los resultados con estudios anteriores.

5.1. Análisis del modelo de medida

La evaluación del modelo de medida implica corroborar la confiabilidad de los indicadores, la consistencia interna de los constructos, la validez convergente y la validez discriminante. Así, la **Figura 2** presenta las cargas de todos los indicadores, sus valores van desde 0.726 para el ítem **REC1** hasta 0.925 para **EV3**, valores dentro de lo recomendado. Además, la **Figura 2** muestra los coeficientes path, y el **R²** para las variables dependientes.

Los valores del **AVE** miden la varianza de los indicadores capturada por el constructo (**Tabla 1**), la cual debe estar por arriba del 50% o 0.5. Los resultados muestran valores de 0.821, 0.710 y 0.646 para las variables **EV**, **ECOP** y **REC**, donde el constructo explica más de la mitad de la varianza de los indicadores.

Figura 2. Modelo teórico con cargas de indicadores, coeficientes path y R2



Notas: EV. Estrategia Empresarial Verde; ECOP. Prácticas de Ecoinnovación; REC. Rendimiento Económico.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Valoración del Modelo de Medida - Confiabilidad y consistencia interna

Indicador	Constructo	Carga factorial	Valor p
Estrategia Empresarial Verde (EV)		0.912	0.000
Alfa de Cronbach: 0.927; Fiabilidad Compuesta: 0.948; rho A: 0.934; AVE: 0.821			
EV1	Recientemente ha incorporado actividades medioambientales en sus procesos de planeación estratégica		
EV2	Se esfuerza en alinear sus objetivos medioambientales con los demás objetivos de la organización		
EV3	Tiene un firme compromiso social de desarrollar productos y procesos que minimizan el impacto al medioambiente		
EV4	Regularmente desarrolla productos y procesos que minimizan el impacto negativo al medioambiente	0.863	0.000
Prácticas de Ecoinnovación (ECOP)		0.795	0.000
Alfa de Cronbach: 0.918; Fiabilidad Compuesta: 0.936; rho A: 0.923; AVE: 0.710			
ECOP1	Realiza un tratamiento de sus aguas residuales		
ECOP2	Produce o utiliza componentes de tela que utilizan tecnologías de sanitización de tejidos		
ECOP3	Utiliza papel ecológico o reciclable en sus procesos		
ECOP4	Tiene un sistema de gestión que reutiliza los componentes y equipos obsoletos		
ECOP5			
ECOP6			
REC1		0.726	
REC2		0.771	
REC3		0.800	
REC4		0.830	
REC5		0.817	
REC6		0.861	
REC7		0.810	

ECOP5	Tiene una Certificación ISO 14001 o similar	0.820	0.000
ECOP6	Realiza constantemente seminarios o cursos de entrenamiento para el personal relacionados con la Ecoinnovación.	0.858	0.000
Rendimiento Económico (REC)		Carga factorial	Valor p
Alfa de Cronbach: 0.908; Fiabilidad Compuesta: 0.927; rho A: 0.920; AVE: 0.646			
REC1	Se han incrementado los beneficios económicos	0.726	0.000
REC2	Se ha incrementado el margen de utilidad	0.771	0.000
REC3	Se ha incrementado el rendimiento de los activos	0.800	0.000
REC4	Se ha incrementado el rendimiento de la inversión	0.830	0.000
REC5	Se ha incrementado el volumen de ventas	0.817	0.000
REC6	Se ha incrementado el rendimiento de las ventas	0.861	0.000
REC7	Se ha incrementado el flujo de efectivo	0.810	0.000

Nota: Varianza media extraída (AVE)

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la consistencia interna definida por el **Alfa de Cronbach** (0.927, 0.918 y 0.908), la **fiabilidad compuesta o rho_c** (0.948, 0.936 y 0.927) y el **rho A** (0.934, 0.923 y 0.920), confirman una asociación adecuada de los indicadores al medir un constructo (Hair et al., 2021).

Al continuar con el análisis, la verificación de la validez discriminante permite saber si los constructos medidos son empíricamente diferentes entre sí, para ello se aplicó el criterio de Fornell y Larcker en el **panel A** (ver **Tabla 2**) donde los elementos de la diagonal en la matriz son la raíz cuadrada de la varianza compartida entre los constructos y sus medidas, exhibiendo valores óptimos pues cada constructo logra diferenciarse de otros (Hair et al., 2021).

Tabla 2. Modelo de Medida - Validez discriminante

PANEL A: Criterio Fornell y Larcker				Heterotrait-Monotrait (HTMT)		
Variables	1	2	3	1	2	3
1. ECOP	0.843					
2. EV	0.455	0.906		0.490		
3. REC	0.248	0.208	0.805	0.308	0.229	
PANEL B: Cargas cruzadas						
Variables	ECOP		EV		REC	
ECOP1	0.797		0.375		0.191	
ECOP2	0.871		0.416		0.220	
ECOP3	0.877		0.428		0.235	
ECOP4	0.830		0.344		0.274	
ECOP5	0.821		0.329		0.264	
ECOP6	0.858		0.402		0.254	

REC1	0.225	0.205	0.727
REC2	0.200	0.209	0.771
REC3	0.184	0.139	0.803
REC4	0.252	0.178	0.832
REC5	0.209	0.162	0.819
REC6	0.265	0.158	0.862
REC7	0.244	0.125	0.812
EV1	0.430	0.912	0.192
EV2	0.407	0.923	0.202
EV3	0.437	0.925	0.180
EV4	0.372	0.864	0.180

Nota: **ECOP:** Prácticas de Ecoinnovación; **REC:** Rendimiento Económico; **EV:** Estrategia Empresarial Verde. **PANEL A:** Criterio de Fornell y Larcker: los elementos de la diagonal son la raíz cuadrada de la varianza compartida entre los constructos y sus medidas (**AVE**). Para la Validez Discriminante, estos deben ser más altos que los que se encuentran fuera de la diagonal. **PANEL B:** Cargas cruzadas de todos los constructos.

Fuente: Elaboración propia

En el **panel B** se presentan los valores de las cargas cruzadas donde los indicadores de cada constructo tienen mayor carga para sí que para con los ítems de los demás constructos. Sin embargo, Henseler et al. (2015) propone una medida más certera para evaluar la validez discriminante, el ratio o criterio **HTMT** donde valores por arriba de 0.90 hablan de constructos muy similares y valores por debajo de 0.85 muestran una clara diferenciación de estos, tales mediciones se obtienen con el procedimiento de **Bootstrapping**, así los valores que se muestran en el **panel A** de la **Tabla 2** confirman valores el aseguramiento de la validez discriminante en el modelo.

5.2 Análisis del modelo estructural

Al analizar el modelo estructural y asegurar la no colinealidad entre variables, se retiraron 3 ítems para la **EV**, mientras que para las prácticas de ecoinnovación se retiraron 8 ítems. Respecto al rendimiento económico no se retiró ninguno. Así, los valores **VIF** obtenidos en el programa de **SMART PLS-SEM 3.2.9** se presentan en la **Tabla 3**, los cuales todos están por debajo de 5, obteniendo valores óptimos de no colinealidad (Hair et al., 2021).

Tabla 3. Valores VIF

Variable	VIF
ECOP1	3.206
ECOP2	3.264
ECOP3	3.868
ECOP4	2.864
ECOP5	4.615
ECOP6	4.540
REC1	1.941
REC2	2.303
REC3	2.497
REC4	2.662
REC5	2.579
REC6	4.102
REC7	3.181
EV1	3.466
EV2	4.003
EV3	3.802
EV4	2.523

Nota: **EV**: Estrategia Empresarial Verde; **ECOP**: Prácticas de Ecoinnovación; **REC**: Rendimiento económico.
Fuente: Elaboración propia

La relevancia de los coeficientes path y su significancia en la relación de la **H1** es de 0.439 (0.000) como se muestra en la **Tabla 4**, lo cual permite aceptar la influencia positiva significativa de la **EV** sobre las prácticas de ecoinnovación, caso similar a Ashraf et al. (2024), Olayeni et al. (2021 y Saether et al. (2021). Además, el f^2 por 0.273 muestra un efecto moderado en la relación. Mientras que la influencia de las prácticas de ecoinnovación sobre el rendimiento económico, el coeficiente path es de 0.234 (0.000), con un tamaño del efecto de f^2 pequeño por 0.095. Sin embargo, se acepta la **H2**, pues se asume un impacto estadísticamente significativo de tales prácticas en los beneficios económicos que obtienen las **Mipymes** manufactureras del estado de Aguascalientes al proteger y cuidar el medio ambiente. Resultados similares exhiben Barriga et al. (2022), Rodríguez-González et al. (2022) y Sezen y Çankaya (2013).

La capacidad predictiva del modelo es asumida por el **R2** dependiendo del contexto y disciplina, valores por arriba de 0.10 son aceptables. El **R2** representa la varianza de los constructos endógenos explicada por el o los constructos exógenos (Hair et al., 2021; Martínez y Fierro, 2018). El valor para las prácticas de ecoinnovación es de 0.192 y para el rendimiento

económico de 0.058 (ver **Tabla 4**). Tales resultados permiten enunciar el poder explicativo del modelo de las prácticas de ecoinnovación por un 19.2% respecto a la variable de la **EV**. Sin embargo, en el caso del rendimiento económico a pesar de presentar valores bajos (0.058) según Cohen, (1990) las implicaciones pueden ser significativas pues el modelo por sí mismo es de relevancia teórica, al ser el efecto en conjunto de la **EV** y de las prácticas de ecoinnovación.

Tabla 4. Modelo estructural

Paths	Path	(t estadístico; valor p)	Int. de Confianza 95%	f ²	Soporte de Hipótesis
EV -> ECOP (H1)	0.457	(9.260 ; 0.000)	(0.370 ; 0.529)	0.273	si
ECOP -> REC (H2)	0.290	(6.149 ; 0.000)	(0.201 ; 0.354)	0.095	si
Efectos Indirectos					
EV -> ECOP -> REC	0.103	(4.841 ; 0.000)	(0.086; 0.171)		
Variables Endógenas		R2	Ajuste del modelo	Valor	HI95
ECOP		0.212	SRMR	0.043	0.053
REC		0.086	dULS	0.282	0.438
			dG	0.151	0.152

Nota: **EV:** Estrategia Empresarial Verde; **ECOP:** Prácticas de Ecoinnovación; **REC:** Rendimiento económico. Una cola, valores t y valores p en paréntesis. Bootstrapping intervalos de confianza 95% (basado en n=5000 submuestras). Abreviaciones: **SRMR:** residual cuadrático medio estandarizado; **dG,** discrepancia geodésica; **dULS,** discrepancia de mínimos cuadrados no ponderados.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, el poder predictivo del modelo fuera de la muestra es asegurado al ejecutar el procedimiento **PLSpredict**, obteniendo valores **Q² predict** superiores a 0 (ver **Tabla 5**), que indican que el nomograma de **PLS** supera al de referencia más simple (**LM**). Además, los valores del **RMSE** (Root Mean Square Error) o Error Cuadrático Medio de Raíz muestran la precisión del modelo predictivo en el **PLS-SEM** al ser más pequeños que los valores **RMSE** del modelo de referencia simple **LM**, por lo que tales parámetros indican un alto poder predictivo del modelo. Respecto al ajuste del modelo, el **SRMR** obtuvo un valor dentro de lo recomendado no mayor a 0.08, la **dG** y **dULS** están dentro del rango de los intervalos de confianza al 95% (Martínez y Fierro, 2018).

Tabla 5. Informe de resultados de PLS predict

Variable	PLS-SEM_RMSE	LM_RMSE	Q ² _predict
ECOP6	1.205	1.214	0.155
ECOP3	1.243	1.251	0.177
ECOP2	1.157	1.158	0.167
ECOP1	1.266	1.270	0.136
ECOP4	1.336	1.344	0.111
ECOP5	1.277	1.279	0.100
REC6	0.973	0.981	0.021
REC7	0.936	0.940	0.014
REC1	0.969	0.970	0.029
REC3	0.998	1.011	0.017
REC2	0.912	0.911	0.031
REC4	0.966	0.970	0.026
REC5	0.960	0.970	0.022

Nota: **ECOP:** Prácticas de Ecoinnovación; **REC:** Rendimiento económico.

6. DISCUSIÓN

Los tomadores de decisiones en las empresas o industrias altamente contaminantes lidian con el paradigma de conciliar el cuidado al medio ambiente con la generación de rendimiento económico para sus stakeholders. Así, los hallazgos de esta investigación muestran que la **EV** incorpora objetivos ambientales a nivel estratégico dentro de las **Mipymes** manufactureras, a la vez que incide significativamente en la implementación de prácticas de ecoinnovación, y estas impactan a su vez, en el rendimiento económico.

Sin embargo, el paradigma económico para este estudio permanece no del todo concluido pues a pesar de existir un efecto positivo de las prácticas de ecoinnovación sobre el rendimiento económico, tal impacto es pequeño. En este punto, es pertinente cuestionar si tales resultados fueron influenciados por los efectos de la pandemia de **COVID-19**, pues las interrupciones en las cadenas de suministro a nivel mundial podrían haber afectado la ejecución de planes y programas ambientales de ecoinnovación. Además, los presupuestos económicos limitados y reducidos como consecuencia de la ralentización de las actividades productivas también podrían haber tenido un papel en estos resultados.

Las empresas conscientes de su impacto medioambiental asumen el compromiso y responsabilidad al incorporar la **EV** para facilitar planes que cuiden y protejan al medio ambiente.

Además, obtienen ventajas competitivas y beneficios empresariales (Lin et al., 2021; Nwankwo, 2022). Así, los resultados de este estudio contribuyen a la literatura al aprobar la **hipótesis 1 (H1)** ya que enfatiza la importancia de alinear las metas ambientales implantadas en la **EV** con las prácticas de ecoinnovación dentro de las agendas empresariales, ya que existe una estrecha colaboración entre ambas variables. Ahora bien, la relación de impacto de la **EV** sobre las prácticas de ecoinnovación está en concordancia con los resultados de Ashraf et al. (2024) y Yahya et al. (2022). La **EV** introduce cambios de aspecto ambiental en productos y procesos (Nwankwo, 2022) lo que fomenta las prácticas de ecoinnovación al abordar modificaciones en productos y procesos, así como aspectos organizativos y de marketing (Hojnik et al., 2014), evidenciando una línea de acción integral en las empresas manufactureras. Sin embargo, los gerentes deben considerar que los beneficios de la **EV** pueden ser negativos con niveles bajos de implementación (Lin et al., 2021).

De igual manera, la ecoinnovación es una herramienta utilizada por la industria desde hace varias décadas para prevenir y mitigar la contaminación, el desperdicio y el uso excesivo de recursos (Yurdakul y Kazan, 2020), por lo que conocer sus beneficios ambientales y económicos es de gran relevancia hoy en día para los tomadores de decisiones. Así, esta investigación abona al conocimiento teórico al confirmar la **hipótesis 2 (H2)**, la cual señala que las prácticas de ecoinnovación impactan de manera positiva al rendimiento económico de las empresas manufactureras, aunque tal impacto es pequeño. Estudios anteriores, también encontraron impactos favorables como Ashraf et al. (2024) y Rodríguez-González et al. (2022), quienes confirman resultados económicos derivados de las prácticas de ecoinnovación.

Sin embargo, existen hallazgos como los de Sezen y Çankaya (2013) en Turquía y Barriga et al. (2022) en Latinoamérica, que no encontraron ganancias económicas en ecoinnovaciones de producto. Asimismo, Miroshnychenko et al. (2017) concluyen en su estudio longitudinal que las ecoinnovaciones de producto y las certificaciones no brindan ganancias económicas. Entonces, a pesar de que los beneficios económicos de las prácticas ambientales han sido objeto de análisis ininterrumpidos, los resultados pueden considerarse no del todo concluyentes (Sezen y Çankaya, 2013; Olayeni et al., 2021). En este sentido, a pesar de que los resultados de esta investigación demuestran beneficios económicos, su efecto es pequeño, por lo que tales resultados deben tomarse con precaución.

No obstante, las **Mipymes** manufactureras pueden beneficiarse enormemente en ambientes dinámicos y asumir compromisos ambientales a través de la ecoinnovación. La ecoinnovación les permite enfrentar retos en nuevos mercados (Saether et al., 2021). En este sentido, los gerentes deben tomar en cuenta diversos aspectos que influyan en los resultados económicos de las prácticas de ecoinnovación, como el grado de implementación de las prácticas y objetivos ambientales, el conocimiento de los colaboradores en el tema, el grado de tecnología empleada, el financiamiento interno y externo que reciba la empresa, y la participación en clusters industriales, etc. Además, estudios anteriores demuestran que el tipo de ecoinnovación es un factor importante para el logro de beneficios económicos (Barriga et al., 2022; Geng et al., 2021; Sezen y Çankaya, 2013). Factores internos como la reducción de costos y la responsabilidad ambiental y factores externos como regulaciones ambientales y presiones de los stakeholders (Ashton et al., 2017), también enfatizan el nivel de compromiso, actuación y resultados de tales prácticas. Por otro lado, programas de ecoinnovación orientados a largo plazo pueden resultar en ganancias económicas (Saether et al., 2021).

6.1. Implicaciones teóricas

Esta investigación aporta al conocimiento en sustentabilidad y gestión estratégica en las **Mipymes** manufactureras en un país en vías de desarrollo al abordar temas ambientales y económicos en conjunto. Así, el estudio abona al conocimiento teórico al confirmar que la **EV** y las prácticas de ecoinnovación colaboran de forma sinérgica para facilitar objetivos ambientales y económicos en la industria manufacturera mexicana. Por lo que, los futuros modelos teóricos deben contemplar la sinergia entre las prácticas de ecoinnovación y la **EV**, ya que esta investigación confirma una influencia significativa. En este sentido, se destaca la importancia de la adopción integral de ambas variables en la industria manufacturera, lo cual recae sustancialmente en los gerentes y los distintos stakeholders. Por lo tanto, el análisis muestra evidencia empírica de un fuerte impacto de la **EV** sobre las prácticas de ecoinnovación, y éstas a su vez influyen en la obtención de ganancias económicas de las **Mipymes** manufactureras. Así, el dilema de logros económicos derivado de acciones ambientales (Olayeni et al., 2021) es acometido más no del todo puesto que tal efecto es pequeño dentro del análisis de este estudio.

6.2. Implicaciones prácticas

A pesar de que las **Mipymes** incurren en altos costos al integrar aspectos ambientales en sus planes y los beneficios económicos no siempre son evidentes, es crucial que los tomadores de decisiones tomen acciones claras para avanzar hacia una mayor sustentabilidad en el sector, debido principalmente a que las actividades productivas de la industria manufacturera resultan en una contaminación considerable (Yurdakul y Kazan, 2020). Bajo este contexto, el estudio comprueba que la aplicación de la **EV** y las prácticas de ecoinnovación en las **Mipymes** manufactureras fortalece su capacidad para responder a las necesidades de los diversos stakeholders y del entorno ya sea en temas ambientales o económicos. Además, la adopción de la **EV** y las prácticas de ecoinnovación en los sectores productivos puede ser un requerimiento por parte de agentes de gobierno, proveedores, inversores o clientes en función de estándares internacionales. Al mismo tiempo, su aplicación representa una oportunidad para las empresas manufactureras de adherirse a cadenas de suministro globales (Rodríguez-González et al., 2022).

Asimismo, las entidades de gobierno, encargadas de fomentar y regular sectores productivos sustentables, deben impulsar la aplicación de prácticas de ecoinnovación a partir de la **EV**, buscando asegurar una integración vertical de objetivos ambientales en las **Mipymes** manufactureras. Por lo tanto, las entidades de gobierno tienen la oportunidad de diseminar conocimientos de buenas prácticas y objetivos medioambientales dentro de la industria manufacturera, así como implementar programas de subsidio y apoyo en beneficio de las **Mipymes** e incentivar su participación en clusters industriales. En consecuencia, las agendas empresariales deben enfocarse a la **EV** y a las prácticas de ecoinnovación como impulsoras de sustentabilidad y protección ambiental. Así, las empresas logran alinearse con tendencias de sustentabilidad globales. De este modo, los esfuerzos al implementar metas medioambientales en las **Mipymes** manufactureras inciden simultáneamente en su supervivencia y en la construcción del desarrollo sustentable.

7. CONCLUSIONES

A continuación, desglosamos las conclusiones, como sigue:

7.1. Cómo se responde a la pregunta e hipótesis de investigación.

Por un lado, esta investigación confirma que la **EV** tiene una fuerte influencia sobre las prácticas de ecoinnovación, siendo el hallazgo más destacado. Por otro lado, si bien las prácticas de ecoinnovación impactan en el rendimiento económico, su efecto es pequeño. En este sentido, se responde a la pregunta inicial de investigación y las hipótesis son aceptadas ya que la **EV** y las prácticas de ecoinnovación favorecen la obtención de ganancias económicas. Así, el estudio contribuye al conocimiento teórico en sustentabilidad y gestión estratégica de las **Mipymes** manufactureras al afirmar que la **EV** actúa como antecedente de las prácticas de ecoinnovación.

7.2. Hallazgos de la investigación.

Los resultados enfatizan que al asumir metas ambientales desde la **EV** junto con prácticas de ecoinnovación, las **Mipymes** manufactureras obtienen rendimiento económico. Por lo que, los tomadores de decisiones deben aplicar la **EV** y las prácticas de ecoinnovación no solo para facilitar metas ambientales, sino también para obtener ganancias económicas. Así, cumplen con regulaciones ambientales, optimizan recursos y reducen riesgos de contaminación. Además, les facilita integrarse a cadenas de suministro y mercados internacionales (Rodríguez-González et al., 2022). En consecuencia, las entidades de gobierno deben facilitar la transición hacia sectores más sustentables con la promoción y fomento de la **EV** y de las prácticas de ecoinnovación.

7.3. Alcances finales de la investigación.

Los hallazgos de este estudio deben tomarse con precaución pues diversos factores como las escalas de medición, el tamaño de la empresa, el subsector, país, y o situaciones como pandemias, crisis económicas o políticas pueden influir significativamente en los resultados. Además, se recomienda considerar en estudios futuros factores como la orientación emprendedora y la gestión del conocimiento, también se deben considerar regulaciones gubernamentales y la participación de las **Mipymes** manufactureras en las cadenas de suministro.

8. REFERENCIAS

- Al-Ajlani, H., Cvijanovic, V., Es-sadki, N., y Müller, V. (2021). EU Eco-Innovation Index 2021 Policy brief. *Eu Eco-Innovation Index 2021 Policy Brief: Vol. xx* (Issue July).
<https://ec.europa.eu/newsroom/rtd/items/725730>
- Ashraf, S. F., Li, C., Wattoo, M. U., Murad, M., y Mahmood, B. (2024). Green horizons: Unleashing green innovation through green business strategies and competencies. *Business Strategy and the Environment*.
<https://doi.org/10.1002/bse.3696>
- Ashton, W., Russell, S., y Futch, E. (2017). The adoption of green business practices among small US Midwestern manufacturing enterprises. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(12), 2133–2149.
<https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1281107>
- Banerjee, S. B. (2002). Corporate Environmentalism: The Construct and Its Measurement. *Journal of Business Research*, 55(3), 177–191.
[https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00135-1](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00135-1)
- Barriga, H. R., Guevara, R., Campoverde, R. E., y Paredes-Aguirre, M. I. (2022). Eco-Innovation and Firm Performance: Evidence from South America. *Sustainability*, 14(15).
<https://doi.org/10.3390/su14159579>
- Bıçakcıoğlu, N., Theoharakis, V., y Tanyeri, M. (2020). Green business strategy and export performance: An examination of boundary conditions from an emerging economy. *International Marketing Review*, 37(1), 56–75.
<https://doi.org/10.1108/IMR-11-2018-0317>
- Castillo-Esparza, M. M. G. C., Cuevas-Pichardo, L. J., y Montejano-García, S. (2022). Innovación en México: Patentes, Gasto en I&D y Capital humano. *Scientia et PRAXIS*, 2(04), 82–103.
<https://doi.org/10.55965/setp.2.coed.a4>
- Chin, W., Cheah, J. H., Liu, Y., Ting, H., Lim, X. J., y Cham, T. H. (2020). Demystifying the role of causal-predictive modeling using partial least squares structural equation modeling in information systems research. *Industrial Management & Data Systems*, 120(12), 2161–2209.
<https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2019-0529>
- Cohen, J. (1990). Things I have learned (so far). *American Psychologist*, 45(12), 1304–1312.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fa770a7fb7c45a59abbc4c2bc7d174fa51e5d946>
- Geng, D., Lai, K. hung, y Zhu, Q. (2021). Eco-innovation and its role for performance improvement among Chinese small and medium-sized manufacturing enterprises. *International Journal of Production Economics*, 231.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107869>
- Global Reporting Initiative, UN Global Compact, y WBCSD. (GRI et al. 2015). *SDG Compass: The guide for business action on the SDGs*.
<https://sdgcompass.org/>
- Gobierno de México. (2024, Abril 8). *DATA MÉXICO*. Aguascalientes, Entidad Federativa.
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/aguascalientes>

- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., Sarstedt, M., Danks, N., y Ray, S. (2021). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook. *Springer Nature*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Henseler, J., Ringle, C. M., y Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115–135.
<https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- Hojnik, J., Ruzzier, M., y Lipnik, A. (2014). Pursuing Eco-Innovation Within Southeastern European Clusters. *Journal of Business Strategy*, XI(3), 40–60.
https://www.researchgate.net/profile/Jana-Hojnik/publication/280575597_Pursuing_Eco-Innovation_Within_Southeastern_European_Clusters/links/55bb6c0b08aed621de0d8cbf/Pursuing-Eco-Innovation-Within-Southeastern-European-Clusters.pdf
- International Energy Agency (IEA, 2021). *World Energy Outlook 2021*.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020). *INEGI presenta los resultados definitivos de los Censos Económicos 2019*. (Boletín de prensa núm. 306/20). Consultado el 2-Mar-2024, de:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/CenEconResDef2019_Ags.docx
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022). *Producto Interno Bruto por entidad federativa Aguascalientes 2021 Preliminar*. Consultado el 2-Mar-2024, de:
www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/PIBEF_Ags.pdf
- Janahi, N. A., Durugbo, C. M., y Al-Jayyousi, O. R. (2021). Eco-innovation strategy in manufacturing: A systematic review. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100343.
<https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100343>
- Khan, S. J., Dhir, A., Parida, V., y Papa, A. (2021). Past, present, and future of green product innovation. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4081–4106.
<https://doi.org/10.1002/bse.2858>
- Kraus, S., Rehman, S. U., y García, F. J. S. (2020). Corporate social responsibility and environmental performance: The mediating role of environmental strategy and green innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 160.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120262>
- Le, T. T. (2022). How do corporate social responsibility and green innovation transform corporate green strategy into sustainable firm performance? *Journal of Cleaner Production*, 362.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132228>
- Leonidou, L. C., Fotiadis, T. A., Leonidou, C. N., y Zeriti, A. (2013). Resources and capabilities as drivers of hotel environmental marketing strategy: Implications for competitive advantage and performance. *Tourism Management*, 35, 94–110.
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.06.003>
- Lin, H., Chen, L., Yu, M., Li, C., Lampel, J., y Jiang, W. (2021). Too little or too much of good things? The horizontal S-curve hypothesis of green business strategy on firm performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 172.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121051>

- Maldonado-Guzmán, G., y Pinzón-Castro, S. Y. (2023). *La Industria 4.0 en las empresas manufactureras de México*. Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Innovación (AMIDI). Repositorio Digital AMIDI.Biblioteca. Consultado el 30-Feb-2024, de:
<https://doi.org/10.55965/abib.9786075956763.2023>
- Maldonado, G., Pinzón, S. Y., y Alvarado, A. (2020). Responsabilidad Social Empresarial, Eco-innovación y Rendimiento Sustentable en la Industria Automotriz de México. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(89), 188–205.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062641014%0APDF>
- Martínez, M., y Fierro, E. (2018). Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16), 130–164.
<https://doi.org/10.23913/ride.v8i16.336>
- Mejía-Trejo, J. (2023). *Teoría de la Innovación Organizacional*. Universidad de Guadalajara. Repositorio Digital AMIDI.Biblioteca. Consultado el 2-Jun-2024, de:
<https://doi.org/10.55965/abib.9786075384665.2019b>
- Miroshnychenko, I., Barontini, R., y Testa, F. (2017). Green practices and financial performance: A global outlook. *Journal of Cleaner Production*, 147, 340–351.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.058>
- Nwankwo, A. A. (2022). Green Business Strategies And Performance Of Breweries In South-East Nigeria. *International Journal of Innovative Social Sciences & Humanities Research*, 10(1), 127–138.
www.seahipaj.org
- Olayeni, A., Ogbo, A., Okwo, H., Chukwu, B., Ifediora, C., y Ezenwakwelu, C. (2021). Green Strategy Effect on Financial and Environmental Performance: A Mediation Analysis of Product Quality. *Sustainability*, 13(4), 2115.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13042115>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2024). *Día de Las Microempresas y Las Pequeñas y Medianas Empresas. 27 de Junio*.
<https://www.un.org/es/observances/micro-small-medium-businesses-day>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021). Progresos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Foro político de alto nivel sobre el desarrollo sostenible: Consejo Económico y Social: Vol. E (58)*.
<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2021/secretary-general-sdg-report-2021--ES.pdf>
- Ortiz, K. H. (2019). Sustentabilidad como estrategia competitiva en la gerencia de pequeñas y medianas empresas en México. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88).
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/290/29062051001/>
- Rodríguez-González, R. M., Maldonado-Guzman, G., y Madrid-Guijarro, A. (2022). The effect of green strategies and eco-innovation on Mexican automotive industry sustainable and financial performance: Sustainable supply chains as a mediating variable. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(4), 779–794.
<https://doi.org/10.1002/csr.2233>
- Rovira, S., Patiño, J., y Schaper, M. (2017). *Ecoinnovación y producción verde. Una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe Documento de Proyecto*. Editorial Cepal.

<https://www.cepal.org/es/publicaciones/40968-ecoinnovacion-produccion-verde-revision-politicas-america-latina-caribe>

Saether, E. A., Eide, A. E., y Bjørgum, Ø. (2021). Sustainability among Norwegian maritime firms: Green strategy and innovation as mediators of long-term orientation and emission reduction. *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2382–2395.

<https://doi.org/10.1002/bse.2752>

Salazar-Soto, H., y Pinzón-Castro, S. Y. (2023). Eco-innovación y Responsabilidad Social Empresarial: Un estudio bibliométrico de la relación de estos constructos. *Scientia et PRAXIS*, 3(05), 34–59.

<https://doi.org/10.55965/setp.3.05.a2>

Sanni, M. (2018). Drivers of eco-innovation in the manufacturing sector of Nigeria. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 303–314.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.007>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México 2018. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y crecimiento verde*. Consultado el 22-Feb-2024, de:

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap1_Poblacion.pdf

Sezen, B., y Çankaya, S. Y. (2013). Effects of Green Manufacturing and Eco-innovation on Sustainability Performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 154–163.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.481>

Statista (2023, Agosto 18). La Industria Manufacturera en México. Datos Estadísticos. *Statista Research Department*.

<https://es.statista.com/temas/7853/la-industria-manufacturera-en-mexico/#topicOvervi>

Yahya, S., Khan, A., Farooq, M., y Irfan, M. (2022). Integrating green business strategies and green competencies to enhance green innovation: evidence from manufacturing firms of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 39500–39514.

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-18430-1>

Yurdakul, M., y Kazan, H. (2020). Effects of eco-innovation on economic and environmental performance: Evidence from Turkey's manufacturing companies. *Sustainability*, 12(8), 3167.

<https://doi.org/10.3390/SU12083167>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol.04.No.08. Jul-Dic (2024): 28-62

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a2>

eISSN: 2954-4041

La Mediación de Impulsores y Prácticas para Superar las Barreras a la Economía Circular

The Mediation of Drivers and Practices to Overcome Barriers to the Circular Economy

Víctor Manuel Molina-Morejón. ORCID [0000-0001-9124-0840](https://orcid.org/0000-0001-9124-0840)

Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible e Innovación Empresarial

Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC)

Coahuila de Zaragoza, México

e-mail: victormolina@uadec.edu.mx

Gonzalo Maldonado-Guzmán. ORCID [0000-0001-8814-6415](https://orcid.org/0000-0001-8814-6415)

Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)

Aguascalientes, México

e-mail: gonzalo.maldonado@edu.uaa.mx

Laura Fernández-Contreras. ORCID [0000-0003-1595-9452](https://orcid.org/0000-0003-1595-9452)

Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible e Innovación Empresarial

Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC)

Coahuila de Zaragoza, México

e-mail: laura.fernandez@uadec.edu.mx

Palabras Clave: capacidades de la economía circular, diseño circular; PyME, mediación, PLS-SEM

Keywords: circular economy capabilities, circular design, SMEs, mediator, PLS-SEM

Recibido: 13-Abr-2024; **Aceptado:** 24-Ago-2024

RESUMEN

Contexto. La economía circular (EC) ha ganado relevancia global por su potencial para promover la sostenibilidad en la producción y consumo, aunque todavía hay pocas investigaciones sobre las barreras, impulsores y prácticas actuales en este ámbito. Este estudio analiza estos factores en las PyME manufactureras de Coahuila, caracterizadas por su alta demanda de mano de obra y bajo consumo de recursos

Propósito. Se busca investigar cómo la mediación de impulsores y prácticas puede ayudar a las PyME a desarrollar capacidades en economía circular (CEC), superando barreras económicas, tecnológicas y culturales. Estas empresas, con una tradición de reacondicionamiento y reducción de residuos, están bien posicionadas para alinearse con la EC y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aunque no siempre están familiarizadas con estos conceptos.

Problema. El desafío central de la EC es superar barreras que dificultan la transición desde un modelo lineal. El estudio se enfoca en cómo los impulsores y prácticas pueden facilitar que las PyME desarrollen CEC

Metodología. Inició con una investigación cualitativa consultando estudios teóricos y expertos, y continuó con una investigación cuantitativa, aplicando el método PLS-SEM para analizar datos de 124 respuestas a un cuestionario enviado a 300 empresas. Se identificaron barreras y se validaron impulsores y prácticas clave para la EC.

Hallazgos. El hallazgo clave fue que la teoría de la mediación validó la relación entre barreras y capacidad de economía circular, basada en la adaptación de competencias a entornos cambiantes.

Conclusiones y limitaciones. Se confirmó el efecto innovador de la mediación en la EC, aunque se reconocen limitaciones en la respuesta y el enfoque en barreras internas.

ABSTRACT

Context. This study focuses on the manufacturing industry in Coahuila, particularly micro and small businesses known for their labor intensity and minimal input use. These businesses have significant potential to integrate into the circular economy by reducing natural resource and energy consumption through open innovation.

Problem. The main challenge in adopting a circular economy is overcoming barriers to shifting from a linear model. This research aims to identify the drivers and practices that facilitate this transition. Specifically, it investigates how these drivers and practices enable **SMEs** to develop circular economy capabilities and overcome existing barriers.

Purpose. The study's objective is to explore and implement the drivers and practices that address circular economy barriers and contribute to achieving the Sustainable Development Goals within an open innovation framework and using a multidisciplinary approach.

Methodology. Initially, qualitative research involving entrepreneurs, academics, and researchers identified barriers and drivers. This was followed by quantitative research, including a survey conducted in April and May 2023 with 124 responses. Nine out of ten hypotheses were supported, and **SMART PLS** was used for hypothesis testing, managing multiple statistical criteria.

Theoretical and Practical Findings. The study's primary finding was the role of innovative actions in mediation theory. Practically, it validated the relationships between barriers and the capabilities of the circular economy concept.

Originality from a multidisciplinary and sustainable innovation point of view. This research innovatively and multidisciplinary addressed circular economy challenges within the framework of sustainable development goals.

Conclusions and limitations. The hypotheses and predictive values validated the innovative impact of mediating drivers and practices on circular economy capabilities. Limitations included potential biases in sample selection.

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio integra diversas disciplinas para abordar el problema desde una perspectiva multidisciplinaria, enfocándose en las **PyME** manufactureras y la economía circular (**EC**). Comienza analizando las barreras de la **EC**, que incluyen aspectos tecnológicos, económicos, culturales, sociales, de gestión, de mercado y gubernamentales. La innovación abierta y la eco-innovación identifican impulsores y prácticas, dentro del concepto de mediación, destacando la importancia del papel mediador en la innovación abierta (Naruetharadhol et al., 2022). Estos pasos iniciales de identificación de barreras y mediadores buscan ampliar la capacidad de la economía circular (**CEC**), sustentada en el concepto de capacidades dinámicas de Teece et al. (1997), que describe éstas como la habilidad de una empresa para adaptar competencias internas y externas a entornos cambiantes.

Demirel y Kesidou (2019) distinguen entre capacidades de eco-innovación genéricas y específicas, identificando las específicas como capacidades de economía circular (**CEC**). Fernández de Arroyabe et al. (2021) valoran que las capacidades relacionadas con la **EC** tienen un efecto importante en el desarrollo de sus procesos, integrando recursos para desarrollar diversas tareas en la empresa que son adquiridas mediante desarrollo, aprendizaje e intercambio de conocimientos. Pinzón-Castro y Maldonado-Guzmán (2023) evidencian que la innovación abierta impacta de manera positiva y significativa en el desempeño de las empresas; en el contexto de esta investigación el desempeño positivo de la empresa se refleja cuando se alcanza la **CEC** (Fernando et al., 2022)

Las **PyME** deben identificar recursos útiles para implementar la **EC** a través de estrategias empresariales ambientales que construyan una ventaja competitiva (Del Río et al., 2016), lograr este esquema es atractivo y ayuda a competir con éxito en el mercado, mejorando prestigio y ganancias, busca que las **PyME** desarrollen capacidades en **EC** para superar barreras y generar beneficios ambientales y económicos mediante la recuperación de activos, reduciendo presión sobre recursos naturales y sociales, costos y aumentando eficiencia y productividad, en un marco de multidisciplinaria y de innovación abierta. Popa et al. (2015) consideran que la deliberación, experimentación social, aprendizaje e innovación abierta contribuyen a construir una orientación

compartida para la investigación multidisciplinaria, abordando problemas entrelazados con soluciones técnicas e innovaciones políticas.

Cano y Londoño (2020) analizan que las áreas temáticas más relevantes de la sostenibilidad en el largo, mediano y corto plazo corresponden a las ciencias ambientales, ciencias sociales, ingeniería, energía, negocios, gestión y contabilidad, y ciencias biológicas y agrícolas, lo que indica que la sostenibilidad representa un enfoque multidisciplinario, que incluye el triple resultado para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la sociedad. A partir de la reflexión anterior la pregunta de investigación se formula: ¿Cómo puede la mediación teórica de impulsores y prácticas facilitar que las **PyME** desarrollen capacidades en EC para superar barreras y generar beneficios ambientales y económicos a través de la recuperación de activos?

La presentación del documento continúa con la revisión de la literatura que ofrece un amplio marco teórico, sustentando las diez hipótesis de investigación y su modelo conceptual, seguido de la metodología y el procedimiento de **PLS**. Los resultados confirman la validación de nueve de las diez hipótesis; en la discusión se valoran tanto los análisis teóricos como los prácticos, y finaliza con las conclusiones. La investigación es valiosa porque no solo describe, sino que plantea soluciones a uno de los problemas más comunes en la actualidad que es superar las barreras que impiden transitar hacia la **EC**.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

Lieder y Rashid (2016) realiza una revisión integral en el contexto de la industria manufacturera y aclara que no está vinculada a una estrategia de una región geográfica particular, en ese contexto, la gestión de devolución de productos, las operaciones de remanufactura y la recomercialización de productos remanufacturados han sido de interés inmediato y base para modelos de investigación de operaciones que brinden apoyo a las decisiones de la industria. En cuanto a beneficios económicos, cada empresa individual se esfuerza por obtenerlos para asegurar la rentabilidad y una ventaja competitiva. Otro tema clave es la escasez de recursos muy vinculada a la prosperidad social pues depende de los suministros finitos de recursos del planeta Tierra, lo que hace que el uso regenerativo de los recursos sea obligatorio para la realización de la **EC**.

Finalmente, Lieder et al. (2016) prioriza en su análisis contextual general que una sociedad con impactos ambientales mínimos es un estado deseable para las naciones, los organismos gubernamentales y los individuos de todo el mundo.

En América Latina, las empresas enfrentan desafíos en productividad por deficiencias tecnológicas y organizativas. En México, las **PyME** carecen de un análisis detallado de su impacto económico y enfrentan obstáculos para expandirse, aunque su alta intensidad laboral y bajo uso de insumos reducen el uso de recursos naturales y energía. (Weller, 2020; Vence y López, 2022)

En México, el concepto de economía circular (**EC**) es relativamente nuevo y tanto las políticas públicas como la investigación en esta área están creciendo. El marco legal actual aborda algunos elementos relevantes para la **EC**, apoyado por la cooperación entre agencias gubernamentales e internacionales, así como organizaciones no gubernamentales. (Munoz-Melendez, 2023).

Coahuila, situado en el norte de México, comparte una frontera de 512 km con el estado de Texas en Estados Unidos. **INEGI**, (2023) destaca que, durante el tercer trimestre de 2023, los estados que más contribuyeron al valor total de las exportaciones fueron: Coahuila de Zaragoza (12.8 %), Chihuahua (12.1 %), Baja California (10.6 %), Nuevo León (10.5 %) y Tamaulipas (6.2 %), sumando entre todos un 52.1 %. El subsector de Fabricación de equipo de transporte destacó con una participación del 40.9 % en el valor total de las exportaciones. Los estados que más aportaron en este rubro fueron: Coahuila de Zaragoza (21.5 %), Guanajuato (9.9 %), Nuevo León (8.9 %), Chihuahua (8.6 %) y Puebla (8.2 %), concentrando el 57.1 % del valor. Las exportaciones totales de las tres principales entidades fueron: Coahuila de Zaragoza (12.8 %), Chihuahua (12.1 %) y Baja California (10.6 %). **IMCO** (2023) subraya como datos generales de Coahuila: “**PIB** per cápita \$289,875.78. Inversión por Persona Económicamente Activa, **PEA** (miles de pesos): **MXN** \$125.04 y Talento (Porcentaje de la población de 25 años y más que cuenta con educación superior, normal o técnica): 29.8%”. Respecto al Índice de Competitividad, el **IMCO** (2023) indica que los cinco estados mejor posicionados fueron Ciudad de México, Querétaro, Nuevo León, Coahuila y Baja California Sur.

3. REVISION DE LA LITERATURA

Esta revisión abarcó los principios teóricos que sustentaron las diez hipótesis planteadas de forma secuencial, comenzando con las barreras, seguido de los impulsores y las prácticas, para concluir con la capacidad de la economía circular.

Estos vínculos destacan cómo los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 12 (**ODS 9** y **ODS 12**) proporcionan un marco global para apoyar e impulsar los principios y prácticas de la economía circular a nivel industrial y de consumo (Kirchherr et al., 2017).

3.1 Objetivos de desarrollo sostenible

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**) son una estrategia interconectada para la promoción de prácticas y soluciones sostenibles que aborda los principales problemas que enfrenta nuestra sociedad. Al mismo tiempo, el tema está ganando interés actualmente debido a su potencial para implementar cambios sistemáticos y contribuir al logro de los **ODS**: la Economía Circular (**EC**) (Schroeder et al., 2019).

El **ODS 9**, "Industria, Innovación e Infraestructura", y el **ODS 12**, "Producción y consumo responsables", están intrínsecamente vinculados en la promoción de la **EC**. Esta sección revisa la literatura relevante para comprender cómo se relacionan estos objetivos y qué impulsores y prácticas pueden superar las barreras a una economía circular.

El **ODS 9** se centra en la industria, la innovación y la infraestructura. Según el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo **PNUD** (2024) este objetivo busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. La economía circular es un modelo económico orientado a minimizar el desperdicio y maximizar el aprovechamiento de los recursos a través de la reutilización, reciclaje y regeneración de materiales y productos. El **ODS 9** se vincula con este enfoque, promoviendo prácticas industriales sostenibles que disminuyen la huella ambiental mediante la optimización de recursos y la reducción de residuos. Según el informe de la **ONU** (2021), desarrollar nuevas tecnologías y métodos para reciclar, reutilizar y regenerar materiales es esencial para avanzar en la **EC**, y esto está directamente relacionado con la promoción de la innovación que aboga dicho **ODS**. También el desarrollo de infraestructuras sistemas de gestión de residuos, redes de transporte eficientes para materiales

reciclables y plantas de reciclaje avanzadas es una parte clave de este **ODS 9** (Banco Mundial, 2023).

El **ODS 12** "Producción y consumo responsables" está alineado con las directrices de la Economía Circular (**EC**). La Unión Europea publicó un plan de acción que promueve la **EC** como solución para fomentar el consumo y producción sostenibles, contribuyendo al logro de las metas de este **ODS** (Rodríguez-Antón et al., 2019). Prácticas de **EC** como la reutilización, reciclaje y prevención de residuos son clave para el **ODS 12** (Priyadarshini y Abhilash, 2023). En este marco, el uso de recursos y la generación de desechos se minimizan mediante la recopilación de datos, convergiendo con los principios de la **EC** (Amirudin et al., 2023).

La **EC** no solo se enfoca en la producción sostenible, sino también en el consumo responsable, destacándose los modelos de negocio circulares basados en la digitalización y el Producto como Servicio o en inglés Product as a Service (**PaaS**) (Geissdoerfer et al., 2018). En **PaaS**, los consumidores pagan por servicios sin poseer el producto, fomentando la economía colaborativa y reduciendo el uso de materias primas (Lopes de Sousa Jabbour, et. al., 2019). Tecnologías como Sistemas Ciber físicos (**CPS**), Internet de las Cosas (**IoT**), Blockchain y la Inteligencia Artificial (**AI**) son empleadas por startups y grandes corporaciones en nuevos mercados. (Almadani y Mostafa, 2021). La sinergia entre el **ODS 9** y el **ODS 12** es crucial para avanzar hacia una economía circular.

El **ODS 9**, centrado en la innovación y la infraestructura, actúa como motor para desarrollar procesos y tecnologías industriales sostenibles que apoyen la producción y el consumo responsables, que son el foco del **ODS 12**. Por ejemplo, la construcción de infraestructura para el reciclaje y la gestión de residuos, así como el desarrollo de tecnologías que optimicen el uso de los recursos, son pasos esenciales para cerrar el ciclo de los materiales y reducir el impacto ambiental. Combinar infraestructura e innovación con prácticas de producción y consumo responsables crea un entorno en el que los recursos se utilizan de manera más eficiente y sostenible.

3.2. Barreras: La influencia de las barreras en este estudio

Reconocer las barreras permite identificar los desafíos específicos que deben ser abordados de manera multidisciplinar para implementar prácticas circulares efectivas. Conociendo las barreras,

los esfuerzos pueden ser dirigidos de manera más eficiente hacia las áreas que requieren más atención y recursos, desde luego con una visión de innovación abierta dada la cantidad de disciplinas que deben ponerse en práctica para superar las barreras y emigrar hacia la **EC**. Al entender las barreras se puede impulsar la innovación y el desarrollo de soluciones que superen estos obstáculos.

Los altos costos de implementación pueden mitigarse creando incentivos financieros y subsidios para apoyar a las empresas en la transición. La resistencia al cambio en hábitos de consumo puede superarse con campañas de educación y sensibilización para cambiar las percepciones públicas sobre la economía circular. Las barreras a la economía circular son cruciales porque determinan la efectividad de las prácticas sostenibles. Superarlas es esencial para cumplir con los **ODS**, facilitando una transición fluida hacia un modelo económico más sostenible y resiliente. Identificar, comprender y abordar estas barreras es un paso fundamental para lograr un desarrollo sostenible global.

En Govindan y Hasanagic (2018) se presenta un estudio que ha sido fundamental para esta investigación, ya que no solo examina las barreras, sino que también identifica impulsores y prácticas que actúan como catalizadores para superarlas. Basado en este enfoque, el modelo conceptual de esta investigación comienza con las barreras (en este caso, solo tres), cuya superación incrementaría la capacidad de la economía circular (**CEC**). Sin embargo, esto no es posible sin la intervención de un grupo de variables mediadoras que actúan como catalizadores, motores o palancas, mediando la trayectoria entre las barreras y la (**CEC**). También son parte integrante e importante los diversos estudios analizados y referenciados, solo sobre barreras a la **EC** como son los de: Shahbazi, et al. (2016); Mont, et al. (2017); Pheifer, (2017); Ritzén, y Ölundh-Sandström (2017); Darko, et al. (2018); De Jesus y Mendonça (2018); Kirchherr, et al. (2018); Luttikhuis, (2020); van Keulen y Kirchherr, (2021); AlJaber et al. (2023); Awana, et al. (2023); Mhatre et al.(2023); Munaro y Tavares (2023); Souza et al. (2024).

Taxonomía de barreras. La taxonomía en el contexto de las barreras a la economía circular clasifica y categoriza los diferentes obstáculos que impiden la implementación efectiva de este modelo económico. Por ejemplo: Las empresas pueden superar barreras económicas creando relaciones fuertes con proveedores ecológicos, colaborando para reducir costos y mejorando la eficiencia energética. Las tecnologías de reciclaje avanzado y productos reutilizables impulsan la

economía circular. Para superar barreras sociales y culturales, es clave educar sobre los beneficios y promover una nueva narrativa sobre productos reacondicionados.

Barreras de cuestiones económicas. Incluyen barreras financieras y económicas relacionadas con poner en marcha la EC en una cadena de suministro, que da como resultado el rediseño del taller y la unidad de producción, incluido el personal capacitado, la construcción, la tecnología, etc. Este proceso inicial parece un trabajo duro para las PyME (Geng et al., 2009) valoran que los altos costos y los bajos beneficios económicos a corto plazo son problemas para las empresas. Lopes de Sousa, et. al., (2019), plantea que adoptar EC permite reducir costos relacionados con el consumo de materias primas, aumentar la eficiencia de los recursos y recuperar activos. Simões et al. (2013) evalúan que los costos de los materiales reciclados suelen ser más caros que los materiales vírgenes, Según Lopes de Sousa, et. al., (2019), una EC pretende preservar la eficiencia de la circulación de bienes, materiales, energía y componentes para agregar valor para la sostenibilidad empresarial.

Barreras de cuestiones tecnológicas. Estas evalúan las limitaciones tecnológicas, la gestión de la incertidumbre en la fase final de vida de los productos y la gestión de la calidad del producto durante su ciclo de vida (Govindan et al., 2018). Por su parte (Shahbazi et al., 2016; Pringle, et al., 2016) afirman que hay limitaciones tecnológicas para rastrear materiales reciclados. Es difícil gestionar la calidad de los productos manufacturados con material reutilizado, señalan (Singh y Ordoñez, 2016). La información precisa no está disponible para los tomadores de decisiones o no se proporciona de manera oportuna. (Su et al., 2013). Maier y Oliveira (2014) valoran que las tecnologías con un enfoque de CEC, disminuyen el uso de recursos, optimizan la eficiencia económica y avanzan el bienestar humano.

Barreras de cultura y cuestiones sociales: se refieren a la percepción del consumidor hacia los productos reutilizados y la emoción de comprar un producto nuevo en lugar de uno recuperado. Estas barreras, Bicket (2020) concuerdan con la aceptación limitada del consumidor y Ranta et al. (2018), menciona la preferencia por productos nuevos. Pheifer (2017) encuentra que la EC no está integrada en la estrategia, misión, visión, objetivos e indicadores clave de desempeño, lo que sugiere que las empresas aún no han incorporado el concepto de evaluar la EC.

Según Suarez-Eiroa, et al. (2019), si la EC se entiende como una herramienta para alcanzar objetivos de desarrollo sostenible, una transferencia de una cierta responsabilidad de los objetivos

sociales a esta es inevitable y su logro resulta inherente a la consecución de objetivos ecológicos y económicos.

Consideraciones finales acerca de estos tres constructos: Las empresas pueden superar barreras económicas estableciendo relaciones sólidas con proveedores de materiales ecológicos, colaborando en mejoras continuas y compartiendo recursos para reducir costos. La eficiencia energética y la reducción de desperdicios también mejoran la competitividad. Tecnológicamente, se puede mejorar la economía circular con tecnologías de seguimiento, reciclaje avanzado y diseño de productos reutilizables. Para superar barreras sociales y culturales, se deben realizar actividades de educación y concientización sobre los beneficios de la economía circular, promover una nueva narrativa cultural sobre los productos reacondicionados y colaborar en diseños circulares. Las hipótesis que se proponen para luego continuar con el efecto de los impulsores y prácticas son las que siguen:

H1: “Las barreras cuestiones económicas tiene una relación positiva y significativa en la **CEC.**”

H2: “Las barreras cuestiones tecnológicas tienen una relación positiva y significativa en la **CEC.**”

H3: “Las barreras culturales y de cuestiones sociales tienen un efecto positivo y significativo en la **CEC.**”

3.3. Los Impulsores y prácticas

Existen una serie de impulsores y prácticas, a saber:

Los impulsores y prácticas en el diseño para la circularidad: Se orientan a la colaboración en cadenas y redes pues facilita la reparación, mantenimiento y reutilización, señala **EMF** (2015) y Vence y López, (2022) cuando ejemplifican que el diseño de un modelo económico circular proporciona utilidad para todos y ayudan a cambiar la forma en que la humanidad hace negocios. En el caso de México, los autores consideran que, aunque la Estrategia Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 aboga por el reuso, reparación y diseño duradero como medios para lograr el objetivo de producción y consumo responsable, aún falta un plan de acción concreto.

Los impulsores y prácticas de eco innovación y ecoeficiencia. McDonough, y Braungart, (2010) destacan que su estudio es único al emplear el modelo de las **5R** de la economía circular como variables independientes y predictores clave para lograr un escenario de triple resultado en cascada que proporcionan un enfoque innovador y holístico sobre cómo reducir el impacto

ambiental de los productos a través de principios que alinean con las **5R**, donde incluyen: recircular (mantener productos en uso), reacondicionar (reparar para prolongar su vida útil), recuperar (extraer materiales útiles), remanufacturar (reconstruir productos con componentes recuperados) y reciclar (convertir materiales en nuevos productos). Nurjanah y Ardyan (2022) indican que la eco innovación mejora el desempeño de las **PyME** en entornos inciertos, mediada por la innovación ecológica. Naruetharadhol et al. (2022) presentaron un modelo de eco innovación abierta y gestión verde. Van de Vrande et al. (2009) señalan que las **PyME** aplican la innovación abierta por motivos de mercado, enfrentando desafíos organizativos y culturales. La eco innovación desarrolla soluciones sostenibles, promoviendo la eficiencia de recursos y reduciendo el impacto ambiental.

Los impulsores y prácticas en el marco de la educación. Este cambio hacia una economía más sostenible está teniendo un impacto también en el sistema educativo presentando temas sobre reciclaje, remanufactura y reutilización. A medida que se destaca el valor de la educación para el desarrollo sostenible y la sostenibilidad, las habilidades están aumentando (Carlotta y Drășuț, 2022). Kirchherr y Piscicelli (2018) presentan un curso que puede impulsar la educación en **EC** basado en los principios pedagógicos de alineación constructiva y aprendizaje basado en problemas, así como la interactividad, el no dogmatismo y la reciprocidad.

Consideraciones finales acerca de estos tres constructos. Chesbrough y Appleyard (2007) señala que la mediación se ubica en el marco de la innovación abierta (**IA**), y Alzoubi y Aziz (2021) exploran la relación entre la inteligencia emocional de los altos directivos y la calidad de sus decisiones estratégicas, considerando el papel mediador de la innovación abierta en sistemas de información inteligentes (*Information intelligent Systems*). Señalan que la innovación abierta en sistemas de información inteligentes mejora la calidad de las decisiones y destacan que su investigación aporta a la literatura teórica, dado que pocos estudios han examinado este papel mediador. Los factores y enfoques relacionados con el diseño para la circularidad se centran en la colaboración dentro de las cadenas y redes, ya que esto facilita la reparación, el mantenimiento y la reutilización. El diseño de un modelo económico circular beneficia a todos y contribuye a transformar la forma en que la humanidad lleva a cabo sus negocios. Además, en el contexto de la eco innovación y ecoeficiencia, adoptar prácticas más limpias y la integración de los principios de las **5R** puede aumentar la eficiencia ambiental en la producción. Asimismo, en el ámbito educativo,

un enfoque sostenible sirve como herramienta para educar y concienciar a todos los que intervienen en la cadena de suministro. A partir de todo lo anterior, las hipótesis que se proponen son:

H4: *“Las barreras económicas tiene una relación positiva y significativa con los impulsores y prácticas.”*

H5: *“Las barreras tecnológicas tiene una relación positiva y significativa con los impulsores y prácticas.”*

H6: *“Las barreras culturales y sociales tiene una relación positiva y significativa con los impulsores y prácticas.”*

3.4. Acción de los impulsores y prácticas en la CEC. La mediación

El análisis de los efectos mediadores y moderadores ha ganado popularidad en psicología. Inicialmente, las variables intermedias se consideraban teóricas y no observables, mientras que las variables mediadoras se percibían como observables y mensurables. La idea de mediación surgió en la década de 1920, centrándose en mecanismos mentales no observables (Roe, 2011).

Las variables mediadoras y prácticas favorecen la economía circular (EC) al promover modelos de negocio y estrategias que optimizan el uso de recursos, reducen residuos y fomentan la reutilización y el reciclaje. La innovación abierta (IA) y la eco-innovación identifican impulsores y prácticas relevantes, destacando la importancia de su papel mediador en la innovación abierta, que tiene un impacto positivo y significativo en el desempeño de las empresas (Naruetharadhol et al., 2022; Pinzón-Castro y Maldonado-Guzmán, 2023).

Estas prácticas, como el diseño para la circularidad y la colaboración en cadenas de suministro, facilitan la reparación y el mantenimiento, reducen costos, mejoran la eco innovación y ecoeficiencia y promueven la educación en técnicas de reparación y reciclaje. Las actividades de reparación y mantenimiento se consideran cruciales para la transición hacia una economía circular, debido a su relevancia económica y social, así como a su papel en la extensión de la vida útil de los productos, disminuyendo el consumo de recursos nuevos y la generación de residuos. (Fernando et al., 2022; Vence y López, 2022). Prácticas como el diseño de productos duraderos y la adopción de procesos de producción sostenibles ayudan a la transición hacia una economía más circular, reduciendo la contaminación y la sobreexplotación de recursos, creando oportunidades económicas

y mejorando la competitividad en un mercado enfocado en la sostenibilidad (Bag et al., 2021). Basado en lo anterior se formula la hipótesis:

H7: “*Los impulsores y prácticas tienen un efecto positivo y significativo en la CEC.*”

3.5. Barreras, efecto mediador y CEC

La economía circular (EC) puede tener un impacto significativo al superar obstáculos económicos y tecnológicos, como los altos costos de transporte y materiales reciclados, y la competencia con productos nuevos. Las políticas de EC pueden influir en las industrias primarias y secundarias, así como en los sectores domésticos, al promover la reutilización y el reciclaje de recursos. Las estrategias de diseño circular, eficiencia en la fabricación y educación a través de programas de formación pueden mejorar la capacidad de la EC al prolongar la vida útil de los productos y optimizar la eficiencia en su mantenimiento y reparación. El potencial económico de las políticas de EC que reciclan y reutilizan, impactan las industrias primarias y secundarias y pueden proporcionar una visión integral de la estructura económica incluso en los sectores domésticos primario, secundario y terciario (Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Fernando et al., 2022)

Asimismo, superar barreras tecnológicas, como mantener la calidad de productos elaborados con materiales recuperados, es crucial para el avance de la EC. La preocupación por mejorar la productividad en América Latina se relaciona con deficiencias tecnológicas, organizativas y de conectividad (De Jesus y Mendonça, 2018). Prácticas como el diseño circular, la eco innovación y ecoeficiencia en la producción y la educación basada en capacitación pueden aumentar la capacidad de la EC al simplificar los procedimientos de reutilización y reciclaje. Las CEC son claves para el desarrollo económico, la investigación del potencial de la EC para diferentes tipos de economías, incluidas las ganancias económicas y sociales, pueden impulsar el crecimiento del empleo (Kalmykova et al., 2018).

Se han logrado avances significativos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en la CEC. Esta última impulsa la producción sostenible, fomenta la innovación y promueve el desarrollo de infraestructuras resilientes, contribuyendo a la implementación del ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura a nivel local. Además, la CEC impulsa el uso eficiente de recursos,

la reducción de residuos y prácticas de consumo y producción responsables con el medio ambiente, alineándose con los principios del **ODS 12** Producción y Consumo Responsables. La **EC** es fundamental para el desarrollo económico y puede impulsar el crecimiento del empleo. Así, se plantean las siguientes hipótesis de efecto mediador:

H8: “*Los impulsores y prácticas en diseño para la circularidad median la relación entre las barreras económicas y la CEC.*”

H9: *Los impulsores y prácticas en el marco de la ecoeficiencia median la relación entre las barreras tecnológicas y la CEC.*”

H10: “*Los impulsores y prácticas en el marco de la educación median la relación entre las barreras de cultura y la CEC.*”

3.6. Diseño del instrumento de medición y/o materiales.

El modelo final es una adaptación de los modelos originales publicados por Fernando et al. (2022). El respaldo teórico de las diez hipótesis fundamenta este diseño, donde las barreras económicas se representan mediante el constructo **F1**, las barreras tecnológicas con el constructo **F2** y las barreras culturales y sociales con el constructo **F3**. El efecto mediador de los impulsores y las prácticas se refleja en el constructo **F4**, y la capacidad de la economía circular (**CEC**) se simboliza con el constructo **F5**.

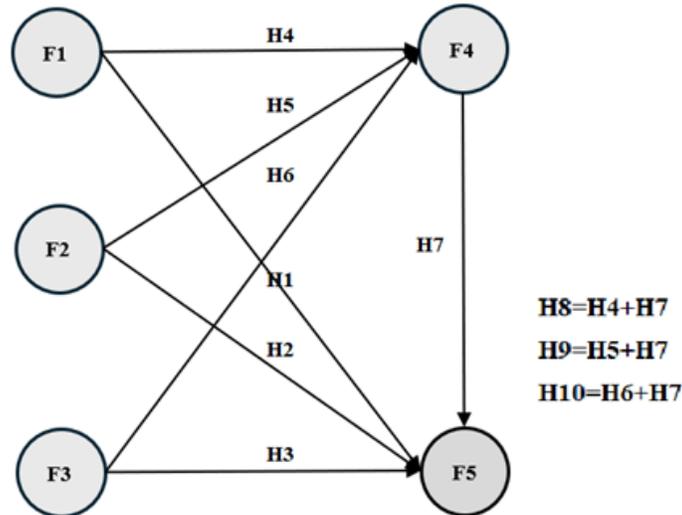
3.7. Modelo Conceptual/Modelo Experimental.

Para estructurar el modelo conceptual final, **Figura 1**, primero se diseñan las trayectorias entre los constructos. Luego, se identifican las relaciones hipotéticas que tienen las barreras económicas, tecnológicas, culturales y sociales (**F1**, **F2** y **F3**) con el constructo **F5** capacidad de la economía circular (**CEC**), formulando así las hipótesis **H1** a **H3**. A continuación, se analizan las relaciones entre **F1**, **F2** y **F3** con el constructo **F4** que agrupa las variables mediadoras para establecer las hipótesis **H4** a **H6**.

La hipótesis **H7** se formula para comprobar si las variables mediadoras (**F4**) tienen una relación positiva y significativa con la **CEC** (**F5**). Las últimas tres hipótesis (**H8**, **H9** y **H10**) cierran el ciclo barreras-impulsores-**CEC**, determinando si la mediación de los impulsores y prácticas al superar las barreras potencia la capacidad de la economía circular **CEC**.

En la **Figura 1** se muestra el modelo conceptual con sus cinco constructos y las relaciones que identifican las diez hipótesis.

Figura 1 Modelo teórico conceptual.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de PLS-SEM

La **Figura 1** es una adecuación a nuestro contexto tomada de los originales publicados por (Danks, 2021 y Fernando et al., 2022).

4. METODOLOGÍA

El estudio empírico se centró en analizar y discutir los efectos de barreras, impulsores y prácticas en la EC mediante la técnica estadística de mínimos cuadrados parciales en modelos de ecuaciones estructurales, (PLS-SEM). Tras revisar el directorio estadístico nacional de unidades económicas DENUE-INEGI (2022) del Estado de Coahuila para el año 2022, se identificó una población de 665 PyME, con una plantilla de entre 11 y 100 empleados, pertenecientes a los códigos de los subsectores 32 y 33 de la industria manufacturera los cuales son esenciales para la economía de Coahuila, ya que contribuyen con el 84% del valor del sector secundario y el 47% del PIB estatal.

Se aplicó una muestra aleatoria estratificada, calculada según el método propuesto por Cochran (1963), con un margen de error de $\pm 5\%$, implicando obtener 250 respuestas en este caso. Se enviaron por medio electrónicos cuestionarios a 300 empresas, solicitando a sus propietarios y gerentes que lo evaluaran en el marco de la EC. La encuesta se realizó entre abril y mayo de 2023 y se recibieron respuestas de 124 empresas, lo que refleja 50 %.

La escala de Likert se empleó para evaluar los elementos del cuestionario, estableciendo 1 como total desacuerdo y 5 como total acuerdo, esta escala ofrece un balance entre la complejidad percibida por el encuestado y el análisis de los datos (Hair et al., 2017).

4.1 Desarrollo de medidas

El desarrollo de medidas para diseñar un instrumento de investigación o encuesta implica una serie de pasos estructurados que garantizan la validez y fiabilidad del instrumento. Comenzó con una investigación cualitativa en el que participaron como expertos cuatro empresarios de **PyME** manufactureras del norte de México, tres catedráticos-investigadores en gestión e innovación, y tres estudiantes de doctorado enfocados en economía circular. Las barreras se clasifican en entornos internos y externos, y cada una está relacionado con una o más partes interesadas. El nivel interno identifica lo que se debe hacer dentro de la empresa; el nivel externo describe lo que se debe hacer fuera para que pueda adoptarse en la cadena de suministro, en este estudio solo se consideran los niveles internos, publicados por Govindan et al. (2018) y las de (Kirchherr et al., 2018; Darko et al., 2018 y Luttikhuis, (2020). La intención del ejercicio fue seleccionar de todas las barreras publicadas aquellas que tuvieran el mayor impacto en el contexto de esta investigación.

Los expertos aceptaron las barreras relacionadas con cuestiones económicas, tecnológicas, culturales y sociales al ser más representativas en las limitaciones que tienen las PyME en el contexto de este estudio. Con igual enfoque hacia las **PyME**, para la selección de los impulsores y prácticas los expertos seleccionaron tres ítems: diseño para la circularidad, ecoeficiencia en producción y educación basada en programas de capacitación propuestas por Govindan et al. (2018); De Jesus y Mendonca (2018); Lopes de Sousa et. al. (2019), Bag et al. (2021) y Ting et al. (2023).

En cuanto a la **CEC** hubo consenso entre expertos para aceptar cinco ítems que de manera abreviada son: conocimientos y habilidades, recuperar activos, negocios circulares; reducir presión sobre el ambiente y desarrollar valores de las **5R** (Zeng et al., 2017; Van Caneghem et al., 2019; Fernández de Arroyabe et al., 2021; Fernando et al., 2022 y Dragan et al., 2023).

Finalmente, se hicieron pequeños ajustes en términos de traducción, estilo de escritura y apariencia. Este tipo de estudios piloto, como señalan Hair et al. (2017), son fundamentales para garantizar la validez cuando se utilizan cuestionarios autoadministrados o escalas desarrolladas específicamente para el estudio. Realizar un estudio da la posibilidad de identificar incompreensión de las preguntas, la claridad de las instrucciones y la adecuación de las escalas de medición, lo que ayuda a mejorar la calidad de los datos recopilados en el estudio principal.

El cuestionario enviado a los directivos y encargados de las **PyME** participantes, como se muestra en la **Tabla 1**, les solicitó que calificaran sus respuestas de la siguiente manera: un 5 indicaba total acuerdo con lo descrito, un 4 significaba estar casi totalmente de acuerdo, un 3 expresaba acuerdo, un 2 mostraba estar casi totalmente en desacuerdo y un 1 indicaba total desacuerdo.

Tabla 1. Cuestionario final con cinco factores y 19 ítems

Items	Cuestionario final sometido a la consideración de las PyME manufactureras	Carga externa	p valor
B-Ec1	Falta la internalización de costos externos del transporte por proveedor	0.744	0.000
B-Ec2	Los materiales reciclados suelen ser más caros que materiales vírgenes	0.843	0.000
B-Ec3	Son altos los costos de materiales respetuosos con el medio ambiente	0.804	0.000
B-Ec4	Los costos de producción aumentan cada año	0.687	0.000
B-Tec1	Difícil asegurar la calidad del producto para todo su ciclo de vida	0.712	0.000
B-Tec2	Complejo lograr calidad de productos de materiales recuperados	0.770	0.000
B-Tec3	Son difíciles los retos de diseño para reutilizar y recuperar de productos	0.855	0.000
B-Tec4	Seria dificultad para asegurar el retorno seguro de residuos a la biosfera.	0.727	0.000
B-Tec5	Son complejas las decisiones en cadena de suministro eficiente en EC	0.733	0.000
B-C.Soc1	La percepción negativa de componentes reutilizados dificulta la EC	0.908	0.000
B-C.Soc2	Comprar productos reacondicionados no genera emoción.	0.885	0.000
IMP-PRC1	El diseño para la circularidad facilitará el reciclaje y la reutilización.	0.667	0.000
IMP-PRC2	La eco innovación favorecerá el desarrollo de soluciones sostenibles.	0.887	0.000
IMP-PRC3	Correcto educar en EC con programas de formación y capacitación	0.853	0.000
C EC1	Implementando EC se desarrollan conocimientos y habilidades sostenibles.	0.763	0.000

C EC2	Implementando la EC se amplía la capacidad de recuperar activos	0.734	0.000
C EC3	El desarrollo de un modelo de negocio circular facilitará emigrar a EC	0.862	0.000
C EC4	Implementando la EC se reduce presión ambiental	0.824	0.000
C EC5	La capacidad de la EC facilita el desarrollo de valores sobre las 5R	0.819	0.000

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

4.2. Fiabilidad y Validez de las Escalas de Medida

La **Tabla 2** muestra que todos los valores del índice de confiabilidad compuesta (**IFC**) y **rho** de Dijkstra-Henseler están por encima de 0.7, estableciendo así la fiabilidad de las medidas (Hair et al., 2017). Para establecer la validez convergente (**VC**), las evaluaciones se basaron en el índice de la varianza promedio extraída (**IVE**) y las cargas externas (Hair et al., 2017). Con respecto a la misma **Tabla 2**, el **IVE** para cada constructo reemplaza el umbral mínimo de 0.5, mientras que el valor de carga factorial de cada elemento de medición está por encima de 0.7 (Loh et al., 2022); por lo tanto, la prueba de **VC** corrobora la validez del resultado. Para ampliar más detalles acerca de los valores antes referidos, puede consultar (Colunga et al., 2018).

Tabla 2. Consistencia interna y validez convergente del modelo teórico

Constructos	Indicadores	Carga factorial	t valor	alfa de Cronbach	Dijkstra-Henseler rho_A	índice de fiabilidad compuesta IFC	índice de Varianza extraída IVE
F1 Barreras cuestiones económicas	B-Ec1	0.744	9.86	0.776	0.797	0.854	0.596
	B-Ec2	0.843	19.308				
	B-Ec3	0.804	24.572				
	B-Ec4	0.687	9.688				
F2 Barreras cuestiones tecnológicas	B-Tec1	0.712	14,403	0.817	0.822	0.873	0.58
	B-Tec2	0.77	18.572				
	B-Tec3	0.855	24.856				
	B-Tec4	0.727	11.062				
	B-Tec5	0.733	8.4				
F3 Barreras culturales sociales	B-C.Soc1	0.908	52.564	0.756	0.762	0.891	0.804
	B-C.Soc2	0.885	32.104				
F4 Impulsores y prácticas	IMP-PRC1	0.667	7.815	0.729	0.763	0.848	0.653
	IMP-PRC2	0.887	41.775				
	IMP-PRC3	0.853	27.253				
	CEC-1	0.763	12.198	0.86	0.862	0.9	0.643

F5 Capacidad de la economía circular	CEC-2	0.734	12.729				
	CEC-3	0.862	29.114				
	CEC-4	0.824	28.642				
	CEC-5	0.819	23.775				

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

La **Tabla 3** muestra el análisis de validez discriminante, que asegura que un constructo no mide otros constructos. Se utilizó el criterio de Fornell y Larcker (1981), que establece que la raíz cuadrada del **AVE** de cada constructo debe ser mayor que su correlación con otros constructos. O sea: los valores en la diagonal en negritas deben ser superiores a los valores asociados, criterio que se cumple.

Tabla 3. Validez discriminante. Criterio de Fornell-Larcker

Constructos	F1 Barreras cuestiones económicas	F2 Barreras cuestiones tecnológicas	F3 Barreras cultura y cuestiones sociales	F4 Impulsores y prácticas	F5 Capacidad de la economía circular (CEC)
F1 Barreras cuestiones económicas	0.772				
F2 Barreras cuestiones tecnológicas	0.760	0.761			
F3 Barreras cultura y cuestiones sociales	0.551	0.630	0.896		
F4 Impulsores y prácticas	0.662	0.697	0.607	0.808	
F5 Capacidad de la economía circular	0.728	0.691	0.576	0.770	0.802

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

5. RESULTADOS

La técnica estadística empleada para evaluar las hipótesis es el Modelo de Ecuaciones Estructurales (**PLS-SEM**) mediante el uso del software **SmartPLS 3.3.8**.

En la **Tabla 4**, se presenta las 10 hipótesis y las diferentes comprobaciones para su aceptación o negación. Las trayectorias identifican el sentido y dirección en que se diseñan las hipótesis, puede ser trayectoria directa o indirecta, esta última cuando una variable mediadora interviene entre ambos constructos, en este caso (**IP**), hipótesis **H8**, **H9** y **H10**.

Tabla 4. Resultados de los constructos exógenas.

Hipótesis	Trayectoria directa	Coeficiente estandarizado β (valor t) (valor p)	Intervalo de confianza 95%	Tamaño del efecto f^2		Soporte
				$f^2 \leq 0.02$ $f^2 \geq 0.15$ $f^2 \geq 0.35$	Efecto (pequeño; medio; grande)	
H1	BCE → CEC	0.328 (5.667; 0.000)	(0.299) - (0.595)	0.13	Pequeño	SI
H2	BCT → CEC	0.083 (2.373; 0.018)	(0.049) - (0.429)	0.01	Sin efecto	SI
H3	BCCS → CEC	0.067 (1.749; 0.081)	(-0.041) - (0.359)	0.01	Sin efecto	NO
H4	BCE → IP	0.271 (2.664; 0.008)	(0.083) - (0.464)	0.069	Pequeño	SI
H5	BCT → IP	0.336 (3.37; 0.001)	(0.147) - (0.523)	0.092	Pequeño	SI
H6	BCCS → IP	0.247 (2.727; 0.007)	(0.062) - (0.404)	0.08	Pequeño	SI
H7	IF → CEC	0.454 (5.027; 0.000)	(0.274) - (0.643)	0.29	Medio	SI
Hipótesis	Trayectoria indirecta	Coeficiente estandarizado β (valor t) (valor p)	Intervalo de confianza 95%	Varianza contabilizada VAF		Soporte
				Valores del VAF en %	Mediación total, parcial o no mediación	
H8	BCE → IP → CEC	0.271 (2.048; 0.041)	(0.022) – (0.278)	0.21	Parcial	SI
H9	BCT → IP → CEC	0.336 (3.037; 0.003)	(0.069) – (0.274)	0.92	Total	SI
H10	BCCS → IP → CEC	0.247 (2.403; 0.017)	(0.022) – (0.209)	0.91	Total	SI

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

Notas:

Coeficiente estandarizado El coeficiente estandarizado presenta valores de betha (β) que identifican el valor de la trayectoria (path) entre constructos y los valores de **p** y **t** estadísticos para comprobar hipótesis.

Intervalo de confianza (IC) del 95% es una herramienta estadística que proporciona un rango de valores dentro del cual se espera que se encuentre el parámetro poblacional con una confianza del 95%. (Henseler, Ringle, y Sinkovics, 2009)

f^2 En el contexto del modelado de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales (**PLS-SEM**), el f^2 es una medida de tamaño del efecto que se utiliza para evaluar la relevancia predictiva de las relaciones estructurales en el modelo. (Cohen, 1988)

VAF (Variance Accounted For) La **VAF** indica la proporción de la varianza de la variable dependiente que es explicada por la variable mediadora (Nitzl et al., 2016)

La **Tabla 5** valora los resultados de los constructos endógenos, con un análisis de la relevancia predictiva y los resultados del ajuste del modelo.

Tabla 5. Análisis de los constructos endógenos

Constructo endógeno	R ² ajustado	Intervalo de confianza (2.5% - 97,5%)	Q ²	Modelo ajustado	Valor de la media de la muestra	HI ₉₉
				SRMR	0.062	0.076
F4 Impulsores y prácticas IMP-PRC	0.563	0.403 - 0.644	0.353	dG	0.427	0.604
F5 Capacidad de EC CEC	0.684	0.541 - 0.740	0.427	dULS	0.742	1.14

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

Nota: En este estudio, $R^2 = 0.563$ indica que impulsores y prácticas explican el 56% de la varianza de las barreras, y $R^2 = 0.684$ muestra que las capacidades de la EC explican el 68% de la varianza de las barreras, impulsores y prácticas.

A continuación, en la **Tabla 6** se amplían estos resultados al presentar los valores Q^2 de las variables dependientes de los dos constructos endógenos.

Tabla 6. Análisis de las variables dependientes de los dos constructos endógenos

Constructos endógenos y sus variables dependientes	Q ²
F4 Impulsores y prácticas IMP-PRC	0.353
IMP-PRC1	0.225
IMP-PRC2	0.352
IMP-PRC3	0.380
F5 Capacidad de la EC C EC	0.427
C EC1	0.401
C EC4	0.460
C EC5	0.349
C EC2	0.314
C EC3	0.344

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

Notas:

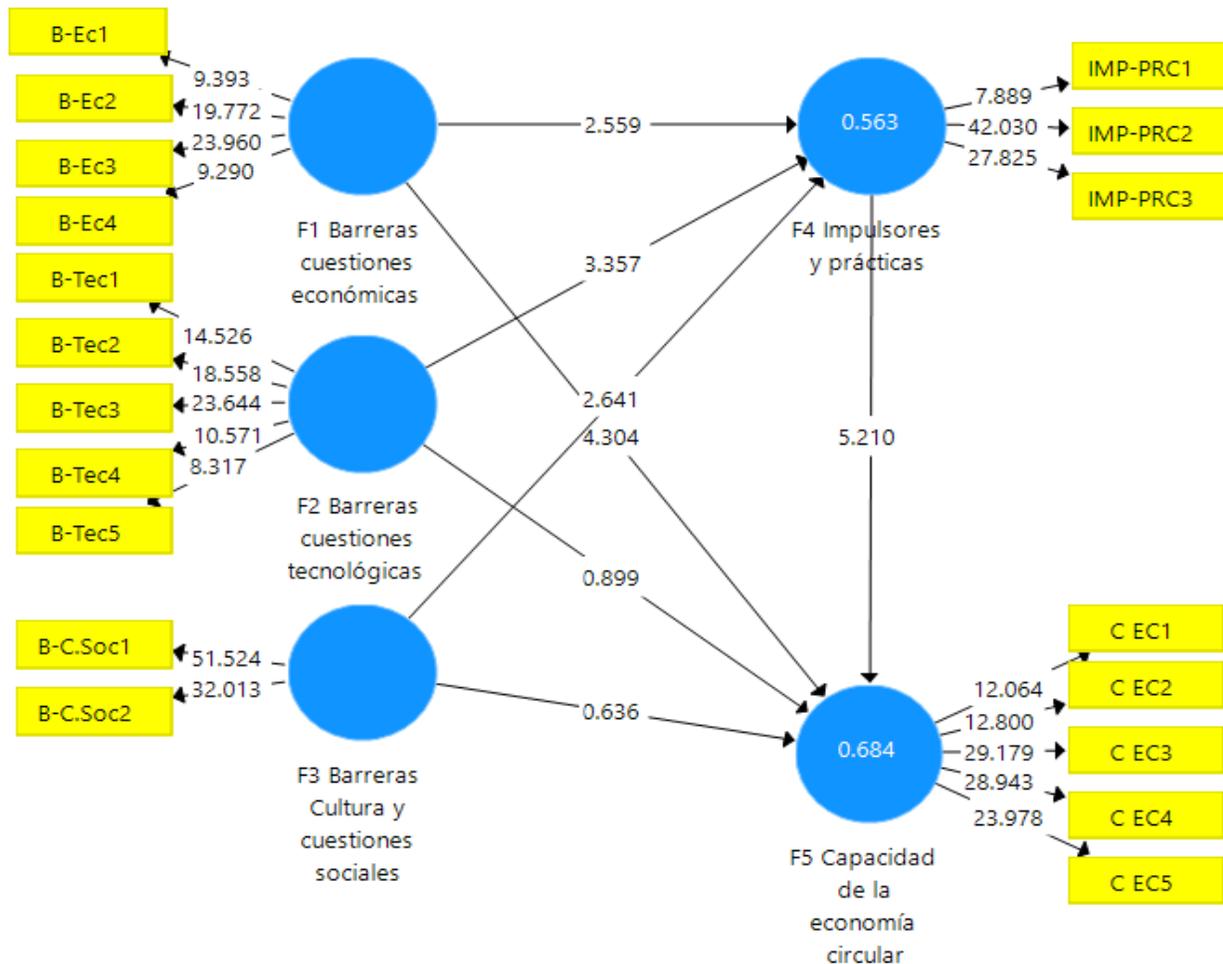
R² Coeficiente de determinación. **Tabla 5** Representa el porcentaje de la varianza de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes. (Hair et al., 2019)

Q² relevancia predictiva (predictive relevance) es una medida utilizada para evaluar la capacidad predictiva del modelo. A diferencia del **R²**, que mide la varianza explicada por el modelo, el **Q²** es fundamental para evaluar la validez predictiva de un modelo complejo

SRMR: raíz cuadrática media estandarizada del residuo por debajo de su valor límite de 0.08 indican (Hair, Sarstedt y Ringle, 2019). Discrepancias **dULS**: discrepancia de mínimos cuadrados no ponderada; **dG**: discrepancia geodésica, todos calculados con las 5000 submuestras de Bootstrap (*remuestreo*), y todos inferiores a **HI99**, con percentiles del 99%, que indica que el modelo teórico tiene un buen ajuste de los datos, (Liu, et al., 2024; Maldonado et al., 2024)

La **Figura 2** muestra los resultados del modelo conceptual luego de la corrida final de **PLS-SEM**.

Figura 2. Resultados alcanzados en el marco del modelo conceptual



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de **PLS-SEM**

6. DISCUSIÓN

La discusión está basada en implicaciones teóricas e implicaciones prácticas siguiendo el procedimiento estructurado en (Mejía-Mancilla y Mejía-Trejo, 2024).

6.1. Implicaciones teóricas

Desde una perspectiva teórica, esta investigación toma como base los conceptos fundamentales relacionados con el trabajo de Govindan et al. (2018), investigador que ocupa el 6to lugar de los 10 autores más citados según estudios de Díaz-Duarte et al. (2024), y es uno de los principales exponentes en la facilitación de la superación de barreras en la economía circular a través de variables mediadoras. En este estudio, se implementa la economía circular como objeto de estudio y las **PyME** manufactureras como sujeto de estudio. Así, se tiene:

- Se aceptaron nueve de las diez hipótesis propuestas. El marco empírico final sobre "la mediación de impulsores y prácticas para superar las barreras a la economía circular" demuestra ser un modelo altamente predictivo, respaldado por sus valores de Q^2 . Según Hair et al. (2019), un valor de Q^2 superior a 0, 0.25 y 0.50 indica una relevancia predictiva pequeña, mediana y grande, respectivamente. Esto se puede observar en la **Tabla 5**, que analiza los constructos endógenos, y en la **Tabla 6**, que examina las variables dependientes de los dos constructos endógenos.
- El resultado del rechazo fue para la hipótesis **H3**: "*Las barreras culturales y de cuestiones sociales tienen un efecto positivo y significativo en la CEC*". La hipótesis no se cumple al ser $t < 1.965$ y $p > 0,05$, así como valores muy bajos de relevancia predictiva $f^2 < 0.02$, debido a varios factores:
 - a. En el caso de constructos intangibles, como "barreras culturales y sociales", es comprensible que este tema sea más controvertido en comparación con barreras tangibles, como las económicas y tecnológicas, que son más fáciles de evaluar.
 - b. Valores bajos de f^2 indican que el predictor tiene un efecto pequeño en el constructo endógeno, lo cual puede ser una razón adicional para rechazar la hipótesis, ya que su contribución al modelo es mínima.

- c. Otros resultados que afectan **H3** son el bajo valor del coeficiente de trayectoria ($\beta=0.067$) y un valor de **1** en su intervalo de confianza.
- d. Las dos preguntas que se realizan acerca de las *barreras culturales y sociales* se relacionan con dos de los temas más controvertidos en la **EC** como son:
 - i. La percepción de los consumidores hacia los componentes reutilizados es negativa y dificulta aceptar la **EC**.
 - ii. Comprar productos reacondicionado en lugar de uno nuevo no genera emoción

En relación con el punto (**d**) Ellen MacArthur Foundation (EMF,2013) ha expresado su preocupación por la baja aceptación de productos reacondicionados, una situación que representa un desafío significativo para la economía circular. En diversas declaraciones y publicaciones, MacArthur ha destacado que muchos consumidores aún desconfían de la calidad y durabilidad de los productos reacondicionados, prefiriendo optar por productos nuevos. Cuanto más cerrado sea el ciclo de reutilización, renovación y remanufactura de un producto, y cuanto más rápido se vuelva a utilizar, mayores serán los ahorros potenciales en materiales, mano de obra, energía y capital. Además, se reducirán las externalidades asociadas, como las emisiones de gases de efecto invernadero (**GEI**), el consumo de agua y la toxicidad.

- Otros resultados destacados son los contrastados con las hipótesis (**H8 a H10**), en las cuales se aplicó la mediación de impulsores y prácticas. Los resultados confirman la aceptación de las tres hipótesis. Se resalta que, aunque la hipótesis **H3 (BCCS → CEC)** no se comprobó, cuando interviene el constructo mediador, se genera la hipótesis **H10 (BCCS → IP → CEC)**, que sí se comprueba, reflejando el papel crucial de una variable mediadora en situaciones donde esta es necesaria. Con este mismo análisis se puede valorar que las hipótesis **H1** y **H2** una vez mediadas con **IP**, sus valores de β y f^2 mejoran.
- Siguiendo a Nitzl et al. (2016), en casos de mediación parcial, se recomienda calcular la varianza contabilizada (**VAF**) para obtener más información sobre la parte mediada. El **VAF** mide cuánto del proceso de mediación explica la varianza de la variable dependiente. Un valor superior al 80% indica mediación total, entre 20% y 80% indica mediación parcial, y menos del 20% significa que no hay mediación. En esta investigación, al aplicar por primera vez este procedimiento, los tres constructos mediados (**H8, H9 y H10**) tienen valores superiores al

20%, explicando respectivamente el 21%, 92% y 91% de las variables dependientes, confirmando así el uso de la mediación.

- La Capacidad de la Economía Circular **CEC**, constructo **F5** que tiene su base en los conceptos de recursos y capacidades pretenden transmitir las habilidades necesarias para aprovechar las oportunidades en la **EC**; prolongar la vida útil de los productos y componentes, sin daño ambiental y recuperar activos; garantizar cuota de mercado, beneficios medioambientales y nuevas relaciones con negocios basados la circularidad, generar menor presión sobre recursos naturales y energía dado el bajo uso de insumos e intensidad en mano de obra, reducir costos y aumentar la eficiencia en el mantenimiento y la reparación.

6.2. Implicaciones prácticas

La integración de la economía circular en las pequeñas empresas manufactureras fomenta el desarrollo sostenible y mejora la eficiencia en la recuperación de activos, una actividad fundamental en los procesos de estas **PyME**, basados en los conceptos de reducir y recuperar. Además, la economía circular está en armonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**), especialmente los **ODS 9** y **12**. Sin embargo, aún no se dispone de un plan de acción que desarrolle esos objetivos o líneas concretas para impulsar las actividades de reparación y reúso.

¿Cómo y con qué objetivo desde el punto de vista práctico se utilizaron los impulsores y prácticas como variables mediadoras para transitar hacia la **EC** y ampliar las capacidades de la economía circular?

a) Ideas para las PyME manufacturera. Desde una perspectiva práctica, los hallazgos de este estudio proporcionan información valiosa a las **PyME** manufactureras en su transición hacia la **EC** mediante: Negocios circulares (**CEC3**) basados preferentemente en el diseño para la circularidad (**IMP-PRC1**) y el empleo de materiales reciclables o biodegradables. La ecoeficiencia en la producción (**IMP-PRC2**) y la eco innovación reducirían la presión ambiental (**CEC4**). Los impulsores y prácticas mediante la educación a través de programas de formación y capacitación (**IMP-PRC2**) desarrollarían conocimientos y habilidades sostenibles (**CEC1**) y valores en el tema de las **5R** (**CEC5**); sería importante convocar a colaboradores para que también se adiestren y preparen en estos programas.

b) Barreras culturales y sociales. Los impulsores y prácticas mediante la educación y programas de formación y capacitación (**IMP-PRC2**) también pueden abordar temas relacionados con la percepción errónea del cliente sobre el uso de componentes reutilizados (**B-CSoc1**) o la pérdida de entusiasmo al comprar un producto reacondicionado (**B-CSoc2**), percepciones que pueden mitigarse al enfatizar la protección del medio ambiente.

c) Barreras económicas: La falta de internalización de los costos externos del transporte (**B-EC1**) se puede mitigar dentro de un marco de negocio circular (**CEC3**) que incluya reglas para proveedores y distribuidores. Esto es posible si se fomentan relaciones estrechas y colaborativas para identificar y reducir costos innecesarios. Los programas de formación y capacitación (**IMP-PRC3**) deberían abordar soluciones para los altos costos de materiales respetuosos con el medio ambiente (**B-Ec3**), lo cual puede lograrse mediante la creación de alianzas estratégicas con proveedores o la compra en volumen para reducir costos. Además, (**IMP-PRC3**) debería incluir en sus programas cómo mantener la calidad de los productos durante su ciclo de vida (**B-Tec1**) al utilizar materiales recuperados (**B.Tec2**).

d) Contribución Metodológica: La aplicación de una revisión bibliográfica para diseñar el instrumento de investigación dirigido a 124 **PyME** manufactureras del norte de México aporta una contribución metodológica. Este enfoque garantiza que los instrumentos de investigación sean culturalmente relevantes y específicos al contexto, mejorando así la validez y confiabilidad del estudio. La metodología de investigación descrita ofrece contribuciones prácticas destacables con implicaciones tangibles para diversos interesados

Desde una perspectiva práctica, las **PyME** estudiadas priorizan un enfoque económico mediante la recuperación de activos (**CEC 2**) y fomentan el desarrollo de valores relacionados con la reutilización, el reciclaje, la reducción y la recuperación (**CEC 5**). Coinciden en que la implementación de la economía circular incrementa la capacidad de recuperar activos y demuestra cómo la **CEC** facilita el desarrollo de valores asociados a las **5R**.

Abordar barreras culturales y sociales (**B-CSoc1** y **B-CSoc2**) aumentaría la conciencia y el conocimiento sobre los beneficios de la economía circular y fomentaría una cultura de innovación y sostenibilidad en las organizaciones. Además, permitiría enseñar y aprender nuevas habilidades, como papel clave en la transición a la economía verde.

7. CONCLUSIÓN

Consensuar cuáles son las vías o procedimientos correctos para que las **PyME** manufactureras de Coahuila avancen hacia la **EC** es algo complejo de lograr en el contexto en el que se desarrollan estas empresas, por eso es interés de los autores que este documento sirva como guía para poder superar las barreras económicas, tecnológicas y sociales que los limitan. Al utilizar el modelo **PLS-SEM**, se abarca la multidisciplinariedad al incluir temas económicos, tecnológicos, culturales y sociales.

La técnica del estudio puede replicarse en otras organizaciones, demostrando que el efecto mediador de los impulsores y políticas es adecuado para superar barreras, adaptándose al contexto específico.

7.1. Como responder a la pregunta y explicar la hipótesis

La pregunta de investigación: ¿Cómo puede la mediación teórica de impulsores y prácticas facilitar que las **PyME** desarrollen capacidades en economía circular para superar barreras y generar beneficios ambientales y económicos a través de la recuperación de activos?, aunque a lo largo del estudio se ha ido justificando y verificando, a continuación, se presenta un resumen conciso que destaca los puntos clave que responden a la pregunta y explican las hipótesis:

Este estudio resalta la importancia del diseño para la circularidad y la colaboración en cadenas y redes en la economía circular, mejorando la eficiencia ambiental mediante prácticas limpias y los principios de las **5R**. La educación en sostenibilidad sensibiliza a los actores en la cadena de suministro. La intervención del constructo mediador **IP** permite confirmar la hipótesis **H10**, subrayando la relevancia del efecto mediador.

Las **PyME** que superan obstáculos económicos como los costos de transporte y materiales reciclados pueden mejorar su capacidad en la economía circular con estrategias de diseño circular, eficiencia en la fabricación y programas de formación. Esto mejora productos deteriorados, extiende su vida útil y facilita la recuperación de activos, reduciendo costos, asegurando cuota de mercado y obteniendo beneficios ambientales.

El objetivo es que las **PyME** adquieran habilidades para aprovechar oportunidades, asegurar cuota de mercado, obtener beneficios ambientales y establecer relaciones comerciales basadas en

la circularidad. La eficiencia en la circulación de bienes y materiales agrega valor a la sostenibilidad empresarial, reduciendo residuos y estableciendo sistemas eficientes de gestión.

7.2. Hallazgos de la investigación

Una cualidad fundamental de la metodología es su propuesta innovadora, que representa el principal hallazgo del trabajo ya que demuestra el efecto de la mediación teórica entre las barreras y la capacidad de la economía circular **CEC**, y no sólo como procedimiento estadístico, sino que la mediación es uno de los métodos analíticos más populares en psicología; inicialmente, las variables intermedias eran teóricas, mientras que las variables mediadoras eran observables y se originó en la investigación sobre mecanismos intervinientes en la década de 1920. Se formula que alcanzar la **CEC** fue la estrategia de este estudio y la táctica el efecto mediador, pero ya no sólo en el marco de la estadística sino como una herramienta que explica las relaciones entre variables independientes y dependientes.

Finalmente se valora el aporte a la solución de las barreras económica, tecnológicas, culturales y sociales y al medio ambiente porque la **EC** es uno de las principales estrategias para alcanzar los **ODS**.

Las **PyME** comienzan a integrarse en la economía circular una vez que superan las barreras tecnológicas. Estas barreras incluyen mantener la calidad de los productos fabricados con materiales recuperados, competir en precios con productos nuevos y vencer la desconfianza en los servicios de reparación. La técnica descrita puede ser replicada en otras organizaciones y contextos, ya que, al validar las hipótesis, quedó implícito que el efecto mediador de los impulsores y políticas es una adecuada opción para vencer las barreras, desde luego adaptándola al contexto donde se pretenda replicar.

Este resultado está limitado por la cantidad de respuestas logradas que pudo ser más amplia y representativa. Los limita la posibilidad de que no todos reciban el instrumento, sino que tengan el tiempo y voluntad para responder; no obstante, la cantidad de respuestas obtenidas se hallan en el marco aceptado para aplicar **SmartPLS**.

Otra limitación fue solo tratar con barreras internas que son en la que las **PyME** pueden operar; las barreras externas dependen de los gobiernos y directivos y ahí la influencia de estas empresas estudiadas es mínima o nula.

8. REFERENCIAS

- AlJaber, A., Martinez-Vazquez, P. y Baniotopoulos, C. (2023). Barriers and enablers to the adoption of circular economy concept in the building sector: a systematic literature review. *Buildings*, 13(11), 27-78. <https://doi.org/10.3390/buildings13112778>
- Almadani, B., y Mostafa, S. M. (2021). IIoT Based Multimodal Communication Model for Agriculture and Agro-Industries. *IEEE Access*, 9, 10070–10088. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3050391>
- Alzoubi y Aziz, R. (2021). Does Emotional Intelligence Contribute to Quality of Strategic Decisions? The Mediating Role of Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 130. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020130>
- Amirudin, A., Inoue, C., & Grause, G. (2023). Assessment of factors influencing Indonesian residents' intention to use a deposit-refund scheme <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100061>
- Awana, Swati; Chavan, Meena; Sedera, Darshana; Cheng, Zhi Ming y Ganzin, Max (2023). Unlocking circular start-ups: A model of barriers. *Business Strategy and the Environment*, 33, 1-32. <https://doi.org/10.1002/bse.3608>
- Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S. y Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices, and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 180(4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420>
- Banco Mundial (2023). Consultado el 12-Julio de 2024, de: <https://www.worldbank.org/en/home>
- Bicket, M. (2020). Complexity and the circular economy: Systems approaches for change. In *The Routledge Handbook of Waste, Resources and the Circular Economy* (pp. 142-152). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/978042934634716/complexitycircular-economy-martha-bicket>
- Cano, J. A., y Londoño-Pineda, A. (2020). Scientific literature analysis on sustainability with the implication of open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 162. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040162>
- Carlotta, M. y Draşutè, V. (2022). Economía Circular, educación para el desarrollo sostenible y habilidades verdes: T(h)REE elementos para un futuro mejor. eMundus. <https://conference.pixel-online.net/files/foe/ed0012/FP/7967-ESOC5674-FP-FOE12.pdf>
- Chesbrough, H. W. y Appleyard, M. M. (2007). Open Innovation and Strategy. *California Management Review*, 50(1), 57-76. <https://doi.org/10.2307/41166416>
- Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cochran, W. G. (1963). *Sampling Techniques*, 2nd Ed., New York: John Wiley and Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/bimj.19650070312>
- Colunga, A., Molina, V. y Díaz, E. (2018). Modelo de Gestión Innovadora en un Centro

- Tecnológico Mexicano de Investigación y Desarrollo. *Información tecnológica*, 29(3),121-132. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300121>
- Danks, Nicholas P. (2021). The piggy in the middle: The role of mediators in PLS-SEM-based prediction: A research note. *ACM SIGMIS Database: the DATABASE for Advances in Information Systems*, 52(SI), 24-42. <https://doi.org/10.1145/3505639.3505644>
- Darko, Amos; Chuen Chan, Albert Ping; Yang, Yang; Shan, Ming; He, Bao-Jie y Gou, Zhonghua (2018). Influences of barriers, drivers, and promotion strategies on green building technologies adoption in developing countries: The Ghanaian case. *Journal of Cleaner Production*, 200, 687-703. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.318>
- De Jesus, Ana, y Mendonça, Sandra (2018). *Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy*. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Del Río, Pablo; Carrillo-Hermosilla, Javier; Könnölä, Totti, y Bleda, Mercedes (2016). Resources, capabilities and competences for eco-innovation. *Technological and Economic Development of Economy*, 22, 274-292. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1070301>
- Demirel, Pelin, y Kesidou, Effie (2019). Sustainability-oriented Capabilities for Eco-Innovation: Meeting the Regulatory, Technology, and Market Demands. *Business Strategy and the Environment*, 28, 847-857. <https://doi.org/10.1002/bse.2286>
- Directorio Estadístico Nacional De Unidades Económicas Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (DENUE-INEGI, 2022). Consultado el 2-Mar-2024, de: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/denue/denue2022.pdf>
- Díaz-Duarte, A., Purón-Cid, G., Sainz-Santamaria, J. y Rivera-Martínez, M. (2024). Circular economy in business, management, and accounting: A bibliometric study of the construct. *Scientia Et PRAXIS*, 4(07), 58–80. <https://doi.org/10.55965/setp.4.07.a3>
- Dragan, G. B., Ben Arfi, W., Tiberius, V., Ammari, A., & Ferasso, M. (2023). Acceptance of circular entrepreneurship: Employees' perceptions on organizations' transition to the circular economy. *Journal of Circular Economy*, 15(2), 123-145. <https://doi.org/10.1234/jce.2023.01502>
- Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2013) "Towards The Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition" https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf
- Ellen MacArthur Foundation, & Granta Design. (EMF,2015). Material Circularity Indicator [Toolkit]. Consultado el 12-Feb-2024, de: https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicymakerToolkit.pdf
- Fernández de Arroyabe, J.C.; Arranz, N.; Schumann, M. y Arroyabe, M. F. (2021). *The development of CE business models in firms: The role of circular economy capabilities*. *Technovation*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102292>
- Fernando, Y., Lang- Tseng, M., Aziz, N., Ridho Bramulya, I. y Ika Sari, Wahyuni-TD (2022). Waste-to-energy supply chain management on circular economy capability: An empirical study. *Sustainable Production and Consumption*, 31,26-38. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.032>
- Fornell, C. y Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18, 39-50. <https://doi.org/10.1177/002224378101800104>

- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of cleaner production*, 190, 712-721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
- Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B. y Fujita, T. (2009). Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. *Waste Management*, 29(2), 996–1002. <https://doi:10.1016/j.wasman.2008.06.036>
- Govindan, K. y Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 278-311. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>
- Hair Jr, J. F.; Hult, G. T. M.; Ringle, C. y Sarstedt, M. (2017). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). (2nd ed.). *Sage Publications Inc.*, Thousand Oaks, CA. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Hair, J.F.; Sarstedt, M. y Ringle, C.M. (2019). "Rethinking some of the rethinking of partial least squares", *European Journal of Marketing*, 53(4), 566-584. <https://doi.org/10.1108/EJM-10-2018-0665>
- Henseler, J., Ringle, C. M. y Sinkovics, R. R. (Eds.). (2009). Advances in International Marketing. *Advances in International Marketing*. [https://doi:10.1108/s1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi:10.1108/s1474-7979(2009)0000020014)
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2023) *Índice de Competitividad Estatal 2023*. Consultado el 20-Abr-2024, de: <https://imco.org.mx/indices/indice-de-competitividad-estatal-2023/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). Comunicado de prensa número 831/23 22 de diciembre de 2023 Página 1/13. Exportaciones Trimestrales por Entidad Federativa (ETEF) Tercer trimestre de 2023. Consultado el 20-Abr-2024, de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/etef/etef2023_12.pdf
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., y Rosado, L. (2018). Circular economy—From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, conservation and recycling*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kirchherr, J., Reike, D., y Hekkert, M. (2017). The role of the Circular Economy in achieving the UN Sustainable Development Goals. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.048>
- Kirchherr, J., Piscicelli, I. Bour, R., Kostense-Smit, E.; Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A. y Hekkert, Marko (2018). Barriers to the circular Economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
- Lieder, M., y Rashid, A. (2016). Towards Circular Economy Implementation: A Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry. *Journal of Cleaner Production* 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Liu, R., Benitez, J., Zhang, L., Shao, Z. y Mi, J. (2024). Exploring the influence of gamification-enabled customer experience on continuance intention towards digital platforms for e-government: An empirical investigation. *Information y Management*, 61(5), 103986. <https://doi.org/10.1016/j.im.2024.103986>
- Loh, Xiu Ming; Hsien Lee, Voon; Wei-Han Tan, Garry; Hew, Jun Jie y Boon Ooi, Keng (2022). Towards a cashless society: the imminent role of wearable technology. *Journal of Computer Information Systems*, 62(1), 39-49. <https://doi.org/10.1080/08874417.2019.1688733>

- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Rojas Luiz, J. V., Rojas Luiz, O., Jabbour, C. J. C., Ndubisi, N. O., Caldeira de Oliveira, J. H., & Junior, F. H. (2019). Circular economy business models and operations management. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1525–1539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>
- Luttikhuis, D.A.C (2020). Barriers faced and dynamic capabilities needed for a circular transition: evidence from the manufacturing industry in the Netherlands. Holanda: Universidad de Twente. Países Bajos. <https://essay.utwente.nl/83095/>
- Maier, S., y Oliveira, L. B. (2014). Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil' s waste policy: The case of Rio de Janeiro. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 484-498. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.025>
- Maldonado, G., Juárez, R. y Molina, V, (2024) ¿Las prácticas Lean son la solución para mejorar el rendimiento empresarial en la industria manufacturera de México? *Multidiscip. Bus. Rev.* 17 (1), 33-48, <https://doi.org/10.35692/07183992.17.1.4>
- McDonough, W. y Braungart, M. (2010). Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North point press. https://books.google.com.mx/books/about/Cradle_to_Cradle.html?id=KFX5RprPGQ0C&redir_esc=y
- Mejía-Mancilla, J. y Mejía-Trejo, J. (2024). Technology Acceptance Model for Smartphone Use in Higher Education. *Scientia et PRAXIS*, 4(07), 113–158. <https://doi.org/10.55965/setp.4.07.a5>
- Mhatre, P., Gedam, V. V., Unnikrishnan, S. y Raut, R. D. (2023). Circular economy adoption barriers in built environment-a case of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136-201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136201>
- Mont, O., Plepys, A., Whalen, K., y Nußholz, JLK. (2017). Business model innovation for a Circular Economy: Drivers and barriers for the Swedish industry—the voice of REES companies. Suecia: *Mistra REES*, 19. <https://lup.lub.lu.se/record/833402ef-b4d4-4541-a10e-34d1e89d2146>
- Munaro, M. R. y Tavares, S. F. (2023). A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective. *Cleaner and Responsible Consumption*, 8, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100107>
- Munoz-Melendez, G. (2023). Status of the Adoption and Practice of Circular Economy in Mexico. In: Ghosh, S.K., Ghosh, S.K. (eds) *Circular Economy Adoption* . Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4803-1_8
- Naruetharadhol, P., Srisathan, W. A., Gebombut, N., Wongthahan, P. y Ketkaew, C. (2022). Industry 4.0 for Thai SMEs: Implementing open innovation as innovation capability management. *International Journal of Technology*, 13(1), 48-57. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i1.4746>
- Nitzl, Ch.; Roldan, J. y Cepeda, G. (2016). Mediation analysis in partial least squares path modeling: helping researchers discuss more sophisticated models. *Industrial Management y Data Systems*, 116, 9. <http://dx.doi.org/10.1108/IMDS-07-2015-0302>
- Nurjanah, A. y Ardyan, E. (2022). Open innovation strategies and SMEs' performance: the mediating role of eco-innovation in environmental uncertainty. *Management Systems in Production Engineering*, 30(3), 214-222. <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0027>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021). Consultado el 3-Mar-2024, de:

<https://es.wiktionary.org/wiki/removido>

- Pheifer, A. G. (2017). Barriers y enablers to circular business models. Recuperado de: www.circulairondernemen.nl/uploads/4f4995c266e00bee8f
- Pinzón-Castro, S. Y. y Maldonado-Guzmán, G. (2023). Open Innovation Effects in Eco-innovation and Business Performance in Mexican Manufacturing Firms. *Scientia Et PRAXIS*, 3(06), 1–19. <https://doi.org/10.55965/setp.3.06.a1>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024). Consultado el 2-Mar-2024, de: <https://www.undp.org/es>
- Popa, F., Guillermin, M., y Dedeurwaerdere, T. (2015). A pragmatist approach to trans disciplinarity in sustainability research: From complex systems theory to reflexive science. *Futures*, 65, pp 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.02.002>
- Priyadarshini, P., y Abhilash, P. C. (2023). An empirical analysis of resource efficiency and circularity within the agri-food sector of India. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135660>
- Pringle, T; Barwood, M, y Rahimifard, S (2016). The Challenges in Achieving a Circular Economy within Leather Recycling. *Procedia CIRP*, 48, 544–549 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.112>
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., y Mäkinen, S. (2018). Creating value in the circular economy: A structured multiple-case analysis of business models. *Journal of Cleaner Production*, 201, 988-1000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.072>
- Ritzén, S., y Ölundh-Sandström, Gunilla (2017). Barriers to the Circular Economy—integration of perspectives and domains. *Procedia Cirp*, 64, 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.005>
- Rodríguez-Antón, J. M., Rubio-Andrada, L., Celemín-Pedroche, M. S., & Ruíz-Peñalver, S. M. (2022). From the circular economy to the sustainable development goals in the European Union: An empirical comparison. *International environmental agreements: politics, law and economics*, 22(1), 67-95. <https://doi.org/10.1007/s10784-021-09553-4>
- Roe, R. (2011). What is wrong with mediators and moderators? 15th European Congress of Work y Organizational Psychology. Maastricht, Netherlands. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/230627055_What_is_wrong_with_mediators_and_moderators
- Schroeder, P., Anggraeni, K., y Weber, U (2019). Linking the Circular Economy and Sustainable Development Goals: a framework and policy implications. *Journal of Environmental Planning and Management*. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1478885>
- Shahbazi, S., Wiktorsson, M., Kurdve, M., Jönsson, Ch., y Bjelkemyr, M. (2016). Material Efficiency in Manufacturing: Swedish Evidence on Potential, Barriers and Strategies. *Journal of Cleaner Production*, 127, 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.143>
- Simões, C. L., Pinto, L. M. C. y Bernardo, C. A. (2013). Environmental and economic assessment of a road safety product made with virgin and recycled HDPE: a comparative study. *Journal of environmental management*, 114, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.001>
- Singh, J., y Ordoñez, I. (2016). Resource Recovery from Post-consumer Waste: Important Lessons for the Upcoming Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*, 134, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.020>

- Souza P. R., Vincenzi, T. B. D., Vazquez-Brust, D. A., Yakovleva, N., Bonsu, S. y Carvalho, M. M. D. (2024). Barriers toward circular economy transition: Exploring different stakeholders' perspectives. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(1), 153-168. <https://doi.org/10.1002/csr.2558>
- Su, B., A. Heshmati, Y. Geng, and X. Yu. 2013. "A Review of the Circular Economy in China: Moving from Rhetoric to Implementation." *Journal of Cleaner Production* 42, 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
- Suarez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., y Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of cleaner production*, 214, pp 952-961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129071>
- Teece, D., Pisano, G., y Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18, 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:73.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:73.0.CO;2-Z)
- Ting, L.S., Zailani, S. y Sidek, N.Z.M. (2023) Motivators and barriers of circular economy business model adoption and its impact on sustainable production in Malaysia. *Environ Dev Sustain* 26, 17551–17578. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03350-6>
- Van Caneghem, Jo; Van Acker, Karel; De Greef, Johan; Wauters, Guido y Vandecasteele, Carlos (2019). La conversión de residuos en energía es compatible y complementaria con el reciclaje en la economía circular. *Política medioambiental de tecnología limpia*, 21, 925-939. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01686-0>
- Van de Vrande, V., De Jong, J. P., Vanhaverbeke, W. y De Rochemont, M. (2009). Open innovation in SMEs: Trends, motives and management challenges. *Technovation*, 29(6-7), 423-437. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.10.001>
- Van Keulen, M. y Kirchherr, J. (2021). The implementation of the Circular Economy: Barriers and enablers in the coffee value chain. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125033>
- Vence, X. y López, S. (2022) Economía Circular y Actividades de reparación y mantenimiento en México: Especificidades y heterogeneidad de su estructura productiva y laboral. *Nova econ.* 32 (1) <https://doi.org/10.1590/0103-6351/6498>
- Weller, J. (2020). Technological change and employment in Latin America: opportunities and challenges <https://hdl.handle.net/11362/45973>
- Zeng, H., Chen, X., Xiao, X. y Zhou, Z. (2017). Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco industrial park firms. *Journal of cleaner production*, 155, pp 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.093>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol. 04. No.08. Jul-Dec (2024): 63-95

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a3>

eISSN: 2954-4041

Integrating the ARIMA Model with Sustainable Practices to Forecast Corn Prices in Mexico

Integración del Modelo ARIMA con Prácticas Sostenibles para Pronosticar el Precio del Maíz en México

Leo Guzman-Anaya. ORCID [0000-0002-5682-3175](https://orcid.org/0000-0002-5682-3175)

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA)

Universidad de Guadalajara (UdeG), Guadalajara, Jalisco, México

e-mail: leo@academicos.udg.mx

Keywords: ARIMA model, price forecast, corn prices, agricultural prices, Mexico.

Palabras Clave: modelo ARIMA, pronósticos de precios, precios del maíz, precios agrícolas, México.

Received: 3-Jun-2024; **Accepted:** 15-Sep-2024

ABSTRACT

Context. The study addresses Mexico's increasing reliance on corn imports due to inadequate domestic production and analyzes price volatility from 1980 to 2023. This research is of utmost importance, using econometric models, it forecasts prices for 2024-2025, aiming to inform agricultural policies and support farmers amid market uncertainties.

Problem. Corn is crucial to Mexican cuisine and culture, but price volatility challenges farmers, consumers, and policymakers. Addressing this requires exploring its causes, effects, and broader socioeconomic context. How can a multidisciplinary approach enhance agricultural policy, address corn price volatility, and promote sustainability?

Purpose. The research uses econometric models to forecast Mexico's corn prices, integrating economics, agriculture, and sustainability to inform policies, reduce price uncertainty, and support sustainable practices aligned with the United Nations 2030 Sustainable Development Goals (SDGs).

Methodology. The study uses **ARIMA models** to forecast 2024-2025 corn prices based on data from 1980 to 2023. **ARIMA** outperforms other techniques for time-series data, which exhibit auto-correlation, such as linear or canonical regression. The reliability of this model is assessed through its parameters (**p**), (**d**), and (**q**).

Theoretical and Practical findings. The research uniquely combines economic theory, statistical modeling, and agricultural sciences to analyze Mexico's corn price dynamics, providing actionable insights that support sustainable development goals, including food security (**SDG 2**) and poverty reduction (**SDG 1**).

Multidisciplinary and sustainable innovation originality. The research is valuable and original as it forecasts corn prices, aiding Mexican farmers' planning, reducing income instability, and supporting **SDGs 1** and **2**. This work offers a promising outlook for the future of corn production in Mexico.

Conclusions and limitations. The research shows **that ARIMA** aids in forecasting Mexico's corn prices and mitigating volatility. The most important regions include the northwest and central west. Future studies should explore regional disparities to tailor policies by incorporating spatial analysis of local conditions and practices.

RESUMEN

Contexto. El estudio aborda la creciente dependencia de México de las importaciones de maíz debido a la producción interna inadecuada y analiza la volatilidad de los precios de 1980 a 2023. Utilizando modelos econométricos, pronostica los precios para 2024-2025, con el objetivo de informar las políticas agrícolas y apoyar a los agricultores en medio de las incertidumbres del mercado.

Problema. El maíz es un elemento crucial para la cocina y la cultura mexicanas, pero la volatilidad de los precios supone un desafío para los agricultores, los consumidores y los responsables de las políticas. Para abordar este problema es necesario explorar sus causas, sus efectos y su contexto socioeconómico más amplio. ¿Cómo puede un enfoque multidisciplinario mejorar la política agrícola, abordar la volatilidad de los precios del maíz y promover la sostenibilidad?

Objetivo. La investigación utiliza modelos econométricos para pronosticar los precios del maíz en México, integrando la economía, la agricultura y la sostenibilidad para informar políticas, reducir la incertidumbre de los precios y apoyar prácticas sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para 2030.

Metodología. El estudio utiliza modelos **ARIMA** para pronosticar los precios del maíz en 2024-2025 basándose en datos de 1980 a 2023. **ARIMA** supera otras técnicas para datos de series de tiempo que exhiben autocorrelación, como la regresión lineal o canónica. La confiabilidad de este modelo se evalúa a través de sus parámetros (**p**), (**d**), y (**q**).

Hallazgos teóricos y prácticos. La investigación combina de forma única la teoría económica, el modelado estadístico y las ciencias agrícolas para analizar la dinámica de los precios del maíz en México, proporcionando información útil que apoya los objetivos de desarrollo sostenible, incluida la seguridad alimentaria (ODS 2) y la reducción de la pobreza (ODS 1).

Originalidad desde el punto de vista Multidisciplinar y de innovación sostenible. La investigación es valiosa y original ya que pronostica los precios del maíz, ayudando a la planificación de los agricultores mexicanos, reduciendo la inestabilidad de los ingresos y apoyando los ODS 1 y 2. Este trabajo ofrece un panorama de gran interés para el futuro de la producción de maíz en México.

Conclusiones y limitaciones. La investigación muestra que **ARIMA** ayuda a pronosticar los precios del maíz en México y a mitigar la volatilidad. Las regiones más importantes son las

ubicadas en el oeste norte y central. Los estudios futuros deberían explorar las disparidades regionales para adaptar las políticas incorporando un análisis espacial de las condiciones y prácticas locales.

1. INTRODUCTION

The study exemplifies a multidisciplinary approach by integrating economics, agriculture, and sustainability to tackle the issue of corn price volatility in Mexico. By employing econometric models, particularly **ARIMA**, the research addresses the economic aspect by analyzing price trends and forecasts, crucial for informing agricultural policies.

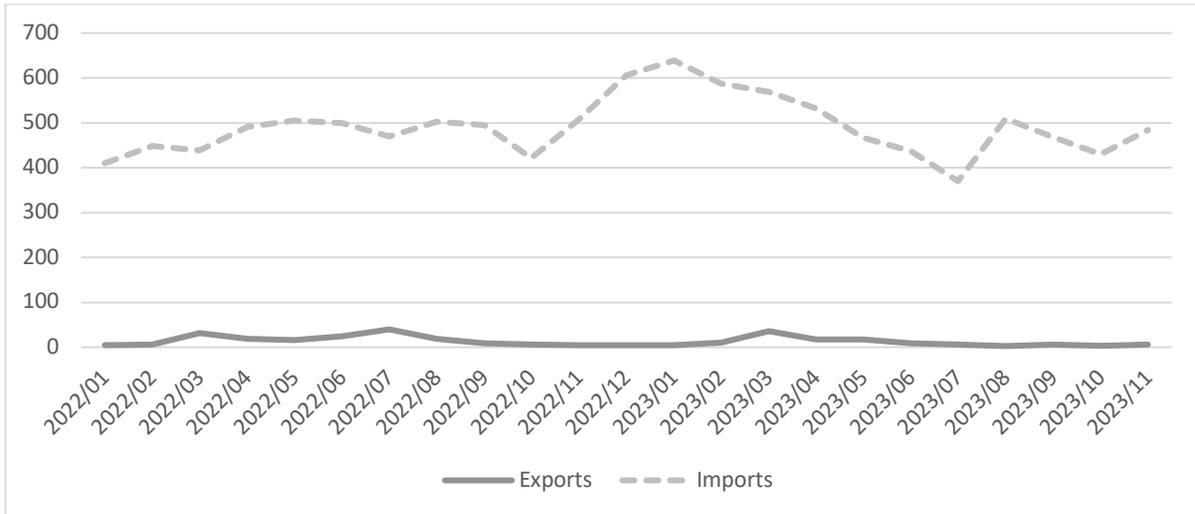
The agricultural dimension is considered in the context of domestic production challenges and the impact on farmers and consumers. Additionally, the study aligns with sustainability principles by supporting policies that contribute to achieving the United Nations 2030 Sustainable Development Goals, specifically those related to food security (**SDG 2**) and poverty reduction (**SDG 1**).

This synthesis of multiple disciplines not only provides a comprehensive understanding of corn price dynamics but also offers actionable insights to support both economic stability and sustainable farming practices in Mexico.

Corn (*Zea mays ssp. mays*¹) is an essential agricultural product for the diet of Mexicans. During the last decades, Mexico has increased its dependence on imports of this grain. According to INEGI (2024) figures, corn imports from January 2022 to November 2023 totaled 11,283 million dollars, while exports represented only 300 million dollars. This represents a deficit of nearly \$11 billion (see **Figure 1**).

¹ *Zea mays ssp mays* corresponds to the maize species of corn found in Mexico.

Figure 1. Corn imports and exports in Mexico 2022-2023. Millions of dollars.



Source: Own elaboration with data from INEGI (2024).

The same is also reflected in amounts per ton, where **Table 1** shows forecast growth for domestic production, imports, exports, and consumption of corn for 2024. Specifically, forecasts show growth of 2.3% for production, 3.5% for imports, 20% for exports and 5% for consumption. In 2024 Mexico could have a deficit of 900 thousand tons to meet domestic corn consumption (Morales, 2023).

Table 1. Corn imports and exports in Mexico 2022-2023. Millions of dollars.

Concept	Years		
	2021-2022	2022-2023*	2023-2024*
Production	26762	28000	27400
Imports	17572	18000	18200
Exports	250	200	300
Consumption	44000	45000	46200

Source: Morales (2023).

Notes: Data shown with * indicate forecasts made by the USDA.

The Plan Nacional de Desarrollo (DOF, 2019) for the period 2019-2024 states that "in 2021, the goal of achieving self-sufficiency in corn and beans must be met"; however, it does not specify whether self-sufficiency is in white or yellow corn. In 2021, the Mexican government issued a

decree to gradually reduce the cultivation and consumption of Genetically Modified (GM) corn by 2024. However, no progress is shown to meet the growing domestic demand.

The data on corn prices are presented in current terms, which does not make them comparable across time. Therefore, corn prices were converted to constant prices using the Gross Domestic Product (GDP) deflator with the base year of 2018. GDP data in current and constant prices were obtained from Banco Mundial (2024).

Figure 2 shows the trend of real corn prices between 2002 and 2022. As observed, there has been a price stagnation in corn during the last two decades in Mexico. Maximum real prices were observed in 2012, with a value of \$5,555 pesos per ton of corn, and in 2022, with a price of \$5,320 pesos per ton.

Given the trends indicated, it is crucial to disaggregate the data to observe patterns at the regional level. This regional-level analysis is essential as it allows us to pinpoint regions with price differentiation in the marketing of corn, thereby providing a more nuanced understanding of the market dynamics.

Figure 2. Real corn prices in Mexico 2002-2021. Pesos per ton.



Source: own elaboration with data from INEGI (2024).

For the regional division, this study follows the classification of the SADER (2021). The classification divides the country into five regions according to their productive vocations seeking

to enhance their land, water, and labor force (SADER, 2021). The agri-food regions are divided into:

- Northwest: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa and Nayarit. Northeast: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas and Zacatecas.
- Central West: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro and San Luis Potosí.
- Center: Mexico City, State of Mexico, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla and Tlaxcala. South-Southeast: Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz and Yucatán.

The data used in the analysis were obtained from the SIACON (2024) database, filtered by crop "corn grain" and by state.

The regional differentiation will allow us to observe possible price divergences. Also, as we observe price stagnation, the study will employ time-series models to forecast the overall price of corn in Mexico for the years 2024 and 2025. This information is helpful for decision-making in the agricultural sector.

The study poses the following research question: *“How can the integration of **ARIMA** models with sustainable agricultural practices enhance the accuracy of corn price forecasts in Mexico, and in what ways can these forecasts reduce price volatility and uncertainty for farmers, thereby informing agricultural policy and promoting sustainable development within the sector?”*

2. CONTEXT DESCRIPTION

This section provides a detailed exploration of corn's significance in global agriculture, particularly on the American continent and within Mexico, addressing not only production statistics but also market dynamics, sustainability efforts, and the broader implications for food security. It is divided into three main sections: Worldwide corn context, American continent corn context and Mexican corn context.

2.1 Worldwide Corn Context

Corn is one of the most significant agricultural products globally, essential for food security, livestock feed, and various industrial applications.

Worldwide, corn serves multiple purposes: about 60% is used for animal feed, while the remainder is allocated for food consumption, industrial applications, and biofuel production. The demand for corn is projected to grow due to increasing livestock production and biofuel requirements, with the global consumption expected to reach approximately 1.6 billion metric tons by 2030 (FAO, 2021).

Corn prices have experienced significant fluctuations, driven by factors such as weather conditions, geopolitical tensions, and economic policies. For instance, during the **COVID-19** pandemic, corn prices surged to historic highs. Price volatility affects global food security, especially in developing countries where corn is a staple food and a critical component of food systems.

2.2 American Continent Corn Context

The American continent plays a significant role in global agricultural production, particularly for key staple crops like corn. The region encompasses a vast range of climates, ecosystems, and agricultural practices, from large-scale commercial farming in the United States to smallholder farming in Latin America.

The U.S. is the largest producer of corn in the world. In the 2022-2023 marketing year, U.S. corn production was estimated at approximately 370 million metric tons (USDA, 2023), representing about 36% of global corn production. Production in the U.S. primarily focuses on yellow corn for animal feed and ethanol production.

Climate change presents significant challenges to corn production in the region, affecting yield stability. Studies indicate that a 1°C increase in temperature could reduce corn yields by 10-20% in susceptible regions including the Americas (Lobell et al., 2011).

As agriculture faces increasing scrutiny regarding environmental impact, various sustainability initiatives are being implemented across the Americas. These include:

- Precision Agriculture: Adoption of technology to optimize inputs and reduce resource waste.
- Conservation Practices: Crop rotation and reduced chemical use to promote soil health.

- Efforts to align agricultural practices with Sustainable Development Goals (SDGs) (United Nations, 2015) focus on improving food security (SDG 2) and supporting sustainable production processes (SDG 12).

2.3 Mexican Corn Context

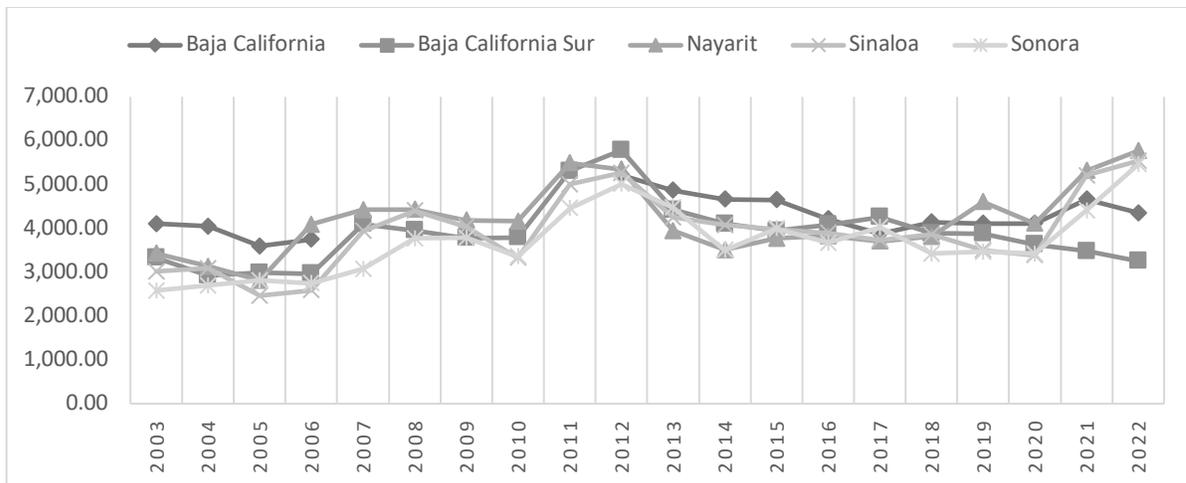
Mexico is one of the world's most significant producers and consumers of corn, Mexico's agricultural landscape is characterized by a rich history and contemporary challenges related to sustainable production, market volatility, and climate change.

The majority of this production is focused on white corn, which is primarily used for human consumption.

The SIACON (2024) presents information regarding rural average prices for corn in Mexico. In this case, monetary values are presented in current prices; so it was convenient to convert them at constant prices using the GDP deflator. GDP data at current and constant prices were consulted by the World Bank (2024).

Figure 3 shows the evolution of the real price of grain corn in the northwest region in the period 2003 to 2022.

Figure 3. Grain corn price per ton in the northwest region at constant 2018 prices (2003 2022)



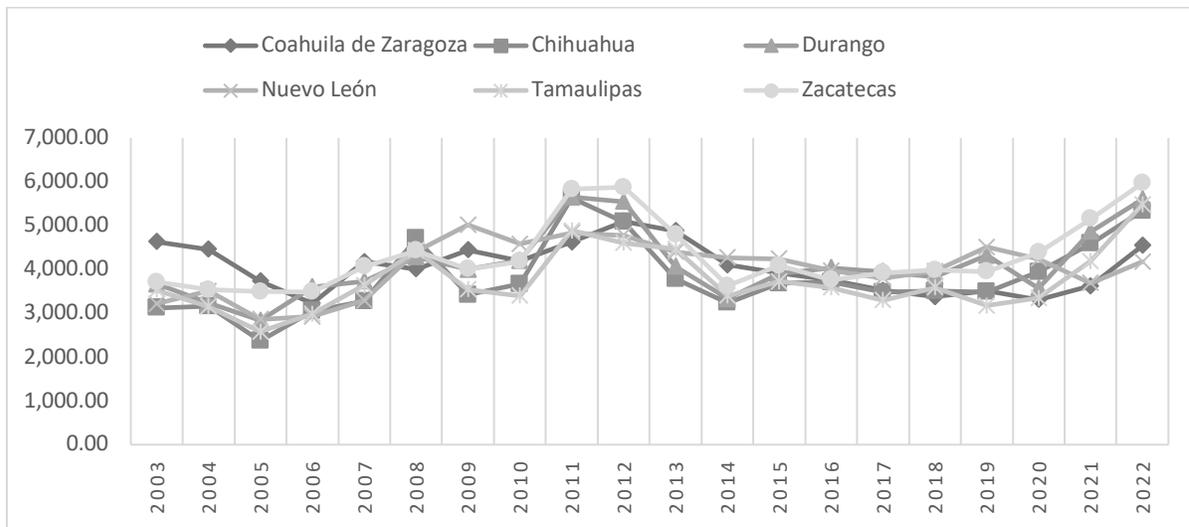
Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024).

A slight upward trend is observed; but in general prices remain without great variations in real terms. Significant increases were only observed in the region in 2011 and 2012, which could be the result of problems in the harvests of other regions (for example, in the northeast region), as a result of atypical meteorological years that caused damage to the corn crop and affected the prices of its commercialization.

In 2022, in the northwest region, the state with the best real marketing price was Nayarit with \$5,678 real pesos per ton; Baja California Sur showed the lowest price, with \$3,256 real pesos per ton.

In the northeast region, there was also a real increase in the price of corn in 2011 and 2012. Especially in Zacatecas and Durango (see **Figure 4**).

Figure 4. Grain corn price per ton in the Northeast region at constant 2018 prices (2003 2022)

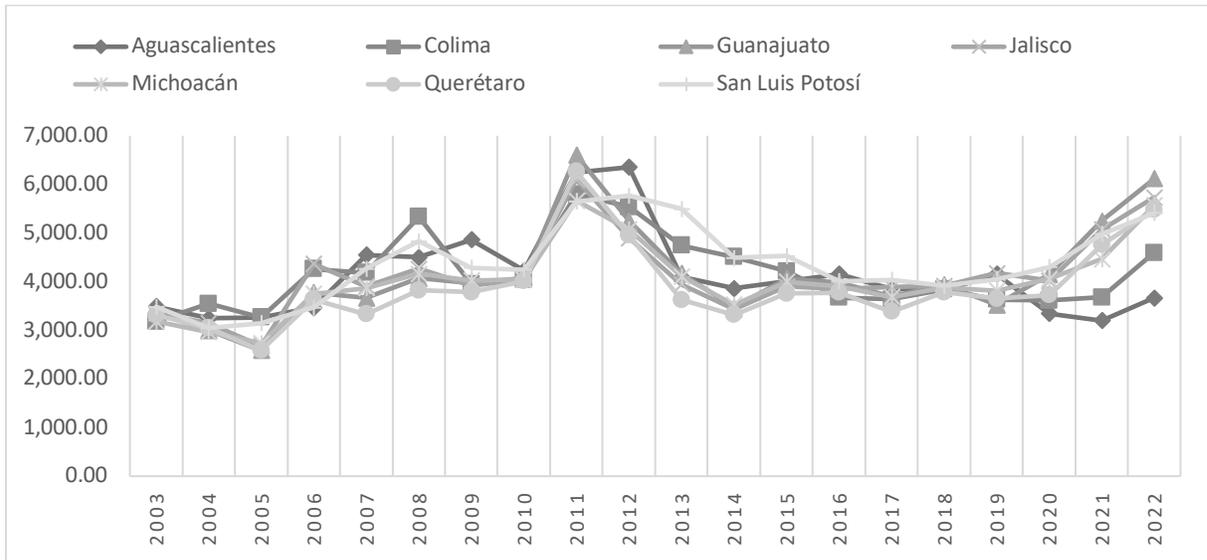


Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024).

The state that has observed a real growth in the price of corn is Zacatecas; this had a real price per ton of \$3,712 in 2012; for 2022 the real price increases to \$5,970 constant pesos. The lowest prices observed in the region were recorded in Nuevo León, with a price per ton of \$4,174 pesos at constant 2018 prices.

In the western region, the increase in real prices in 2011 and 2012 is also observed (**Figure 5**). In addition, as of 2020, real price growth trends are recorded for most states; the one that registers the highest real price in 2022 was Guanajuato, with \$6,115 real, in constant pesos; the entity with the lowest price that year was observed in Aguascalientes with \$3,662 constant pesos.

Figure 5. Grain corn price per ton in the Central-West region at constant 2018 prices (2003-2022)

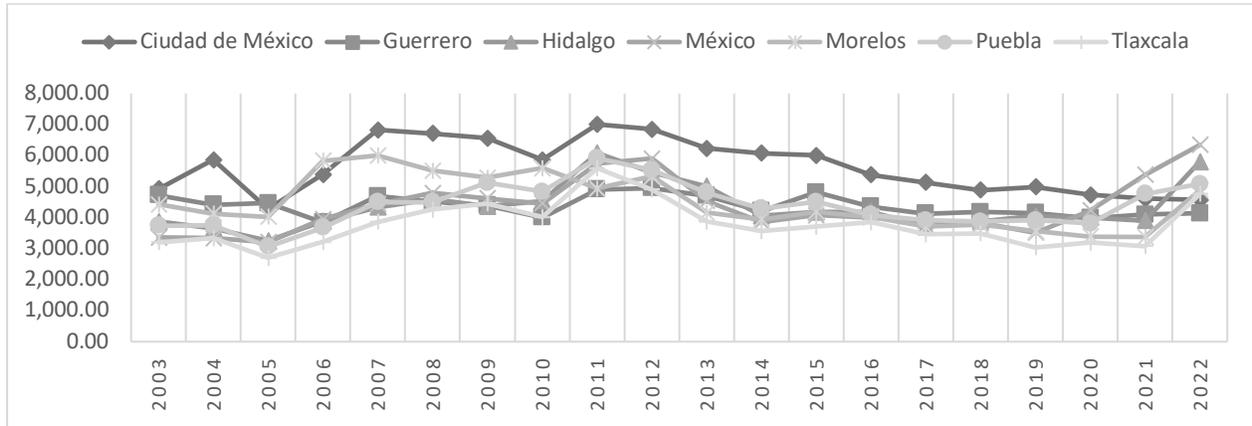


Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024).

In the central region, during the period, Mexico City stands out with prices above the other entities. However, as of 2012, the real price in Mexico City has been decreasing until it is below all the states in the region, except Guerrero.

It also highlights the case of the State of Mexico, an entity where an accelerated increase in real prices is observed as of 2019. Specifically, in 2019 the real price per ton was \$3,512; for 2022 the figure increased to \$6,344, which represents a real price growth between the two years of 80% (**Figure 6**).

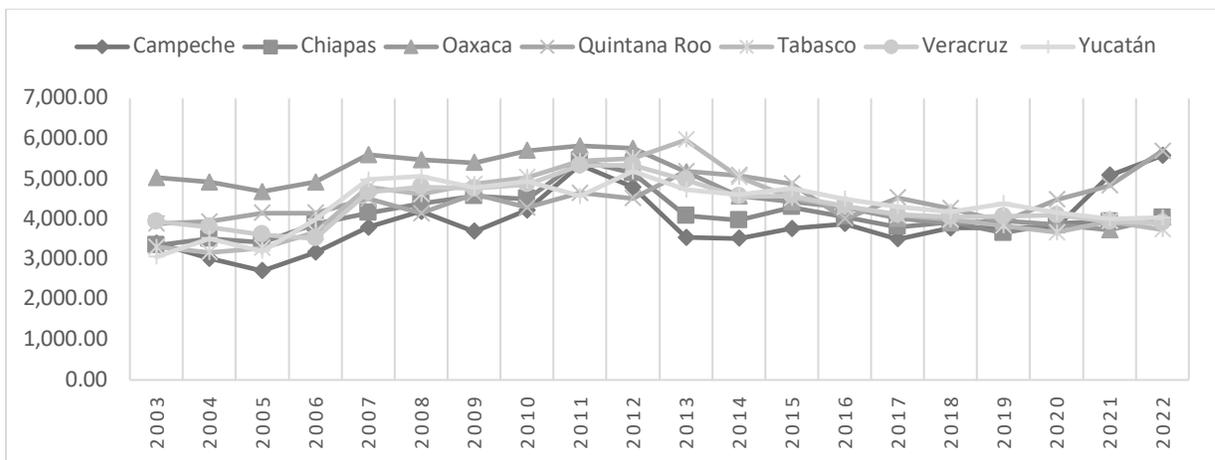
Figure 6. Grain corn price per ton in the central region at constant 2018 prices (2003-2022)



Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024).

In the southern and southeastern regions, **Figure 7** shows the evolution of real prices per ton of grain corn. Unlike other regions, there are no drastic changes in prices and for most states in the region levels between \$3,000 and \$4,000 pesos remain constant. Only Campeche and Quintana Roo stand out, which as of 2021 show price increases above the average for the region, reaching levels above \$5,000 constant pesos per ton in 2022.

Figure 7. Grain corn price per ton in the South & Southeast region at constant 2018 prices (2003-2022)



Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024).

The price analysis shows in the previous sections, important divergences in corn prices between different regions and Mexican entities. This can generate uncertainty for producers, since, despite the hectares planted, harvested or production levels reached, the final marketing price determines the profitability of the crops. In recent years, the Mexican federal government has introduced guaranteed price programs for basic food products, seeking to reduce this uncertainty. In the case of corn, in 2021 the guarantee price was recorded at \$6,060 per ton with a limit of 20 hectares per producer. In the spring-summer 2020 cycle, SAM (2022) reported having supported 65,578 producers with guaranteed prices, totaling 703,976 tons. In that year, the production of grain corn in Mexico was 27.4 million tons, so the amount of corn stockpiling with a guaranteed price represented 2.6% of the national production.

3. LITERATURE REVIEW

The previous sections present information regarding prices of grain corn in different regions of Mexico. The data show us variability in prices in different regions. This can generate uncertainty for farmers when facing price volatility. This section seeks to propose a maize price forecasting model using an integrated autoregressive moving average model (**ARIMA**) or also known as Box-Jenkins (Box et al., 2015).

This section begins by presenting the relationship between corn price forecasts and SDGs, it later highlights the multidisciplinary and innovative contribution as well as the relevance for policy makers. It later discusses the innovation for sustainable development contributions of the research. Finally, it presents the **ARIMA** model used for forecast purposes.

The section emphasizes the ongoing need for innovative approaches to enhance resilience in agriculture and how the study's conclusions bridge theoretical contributions with practical applications for sustainable agricultural practices in Mexico.

3.1. Addressing critical Sustainable Development Goals

The research on integrating the **ARIMA** model with sustainable practices to forecast corn prices in Mexico is both valuable and original, particularly in relation to the Sustainable

Development Goals (**SDGs**) (United Nations, 2015). Here are several key points highlighting its significance:

Goal 1: No Poverty. By providing reliable forecasts of corn prices, the research empowers smallholder farmers with essential information for better planning, potentially mitigating risks associated with income instability and market volatility. This helps farmers adapt to changing market conditions, reducing vulnerability to poverty.

Goal 2: Zero Hunger. Understanding price dynamics and forecasting future prices promotes food security for consumers and farmers alike. When farmers are aware of expected price trends, they can make informed decisions regarding production, storage, and distribution, which ultimately stabilizes food supplies.

Goal 12: Responsible Consumption and Production. The research fosters sustainable agricultural practices by integrating econometric analysis with agricultural policies. Forecasting tools can help inform strategies that optimize resource use, reduce waste, and encourage responsible production methods that align with sustainable practices.

3.2. Multidisciplinary and innovation

The original contribution of the research stems from its multidisciplinary. By combining conceptions and methodologies from agricultural economics, statistical modeling, and sustainability science, the study breaks down traditional disciplinary silos. This collaborative approach generates new insights that are more holistic and relevant to real-world agricultural challenges.

Innovative Application of the ARIMA Model. The application of the **ARIMA** model—a statistical method predominantly used in finance—to the agricultural sector represents an innovative methodology that enhances the understanding of price volatility. This cross-disciplinary strategy sets a precedent for future studies and applications in similar contexts, emphasizing the potential benefits of diverse disciplinary contributions to problem-solving.

3.3 Relevance for Policymaking

The research's findings have practical implications that make it especially relevant in a policy context.

Evidence-Based Decision-Making. By equipping policymakers with reliable and innovative forecasting tools, the research provides the empirical evidence necessary for developing informed policies that support agricultural sustainability. This evidence-based approach fosters accountability and adaptability in policy frameworks aimed at meeting **SDG** targets (United Nations, 2015).

Fostering Public and Private Sector Collaboration. The study encourages collaboration between public institutions, agricultural producers, and researchers. Such partnerships are crucial for implementing sustainable practices in agriculture and addressing the pressing challenges associated with agriculture and climate change.

3.4. Contribution to Innovation for Sustainable Development

The originality of the research lies in its innovation, which can lead to transformative changes in agricultural practices:

Promoting Innovative Solutions. By employing econometric modeling in agriculture, the research facilitates the development of innovative solutions to traditional agricultural problems. This not only enhances productivity but also promotes sustainable practices that can withstand adverse economic conditions.

Handling Complex Systems. The complexity of agricultural markets demands sophisticated tools for analysis and forecasting. This research provides a template for how innovative modeling approaches can be applied to similar issues within the agricultural sector while keeping in view environmental sustainability.

3.5 The ARIMA model as a forecast instrument

ARIMA models are univariate time series techniques that are used to generate forecasts. They have been used in the literature for agricultural forecasting under different perspectives. For example, to forecast production yields. Yasmin & Moniruzzaman (2024) employ **ARIMA** models to forecast the jute production in Bangladesh. The overall trend found in the model showed an increasing trend in area cultivated but a decreasing trend in production which can be valuable for policy makers to guide initiatives. Similarly, time-series analysis has been employed for the production forecasts of cereal crops including maize. Bezabih et al. (2023), forecast cereal crop

production in Ethiopia. The findings suggest increasing trends in all crops analyzed, where corn is expected to transit from 11 to 14 tons between 2020 and 2030.

For price forecasts using **ARIMA** models, studies have focused on agricultural crops that exhibit price volatility. Agbo (2023) employs **ARIMA** models to forecast export crops in Egypt such as green beans, tomatoes, onions, oranges, grapes and strawberries. Developing countries depend on agricultural exports as a crucial part of their economies, therefore predicting price volatility in export crops is important in designing economic plans in regarding agricultural production, consumption, marketing and trade.

For the case of maize, Yadav et al. (2023) forecast maize production in South Asian countries. The countries included in the analysis were Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, China, India, Nepal, Pakistan, and Sri Lanka during the time-span from 1961 to 2027. The results indicate an expectation of maize production increase for these nations where India is expected to lead corn production in the region in 2027. Similarly, Jadhav, et al. (2017) employ **ARIMA** models to forecast maize prices in India. The results show that the models exhibit powerful forecasting abilities marked by the precision indicators. Similarly, Maiga (2024) explores the use of **ARIMA** models to forecast corn production in Tanzania. The results indicate a ten year forecast with an intermittent pattern which may be valuable in anticipating trends.

For the case of maize in Mexico, López-García et al. (2021) estimate **ARIMA** and autoregressive vector (**VAR**) models for corn price predictions in the states of Sinaloa and Mexico from 2000 to 2018. The results indicate that multivariate models are not necessarily decisive to obtain forecasts close to the observed values, which indicates that **ARIMA** models can be good agricultural price forecasting tools. Martínez-Damián & Brambila-Paz (2023) mention that nominal or real prices is indifferent in the construction of maize forecast prices in Mexico.

Previous evidence show that **ARIMA** models outperform other forecast techniques such as regression analysis when dealing with time series data. The primary reason is that time-series data is auto-correlated between periods, so the no auto-correlation assumption in linear regression is regularly broken. Also, in regression analysis, often the independence assumption is also violated as variables exhibit autocorrelation among them. The limitations of linear regression are accounted for in **ARIMA** models.

The literature review shows that use of advanced inferential statistical methods may increase our understanding of agricultural production and price levels. Understanding these dynamics result in powerful data valuable to policymakers, agricultural stakeholders and researchers which in turn may use them to guide policy, programs and projects aimed to enhancing agricultural productivity and food security particularly in developing nations.

3.6 The Design of the final instrument

The Autoregressive, Integrated Moving Average (**ARIMA**) univariate model is a statistical analysis model which suggests that the variable $\{Y_t\}$ follows an **ARIMA** process (p, d, q) , where p denotes the autoregressive terms, q is the order of moving averages and d the number of differences in the series required for the process to be stationary.

Its representation is as presented in **Equation 3.1**:

Equation 3.1. ARIMA General model

$$Y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Where ε denotes the random error term of white noise, distributed independently with zero mean and variance θ^2 . The fit of the model follows the Box-Jenkins methodology, where the stationarity conditions of the series are first verified, afterwards, we identify the values of the **ARIMA** process (p, d, q) , we review diagnoses, fit tests and prognoses, following the principle of parsimony (Box et al., 2015)

3.7 Conceptual Model/Experimental Model

The **ARIMA** model extends the **ARIMA** perspective (see **Equation 3.2**) assuming that time-series data is non-stationary and may exhibit systematic changes in trends. Therefore, trends must be eliminated by a difference operator.

Equation 3.2. ARIMA model description.

$X_t = \text{Noise} + \text{AutoRegressive Part} + \text{Moving Average Part}$

$$X_t = Z_t + \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q}$$

Source: Thistleton & Sadigov (2023).

The study poses the following **hypothesis (H)**:

H: “Given the current volatility and uncertainty in corn prices in Mexico, the integration of the **ARIMA** (Autoregressive Integrated Moving Average) model with sustainable agricultural practices will effectively forecast corn prices, thereby providing valuable insights for reducing price volatility and uncertainty faced by farmers. This will ultimately contribute to more informed decision-making in agricultural policy and practice, promoting sustainable development within the agricultural sector”.

This hypothesis reflects the study's aim to analyze the effectiveness of the **ARIMA** model in providing accurate price forecasts, which can help mitigate the challenges associated with price fluctuations in the context of sustainable agricultural practices in Mexico.

4. METHODOLOGY

The data on the average rural price of grain corn were obtained from SIACON (2024), expressed in pesos per ton at current prices. The data are annual with a period from 1980 to 2023.

The statistical software used was R and R-Studio in its version "2023.06.0 Build 421".

The stages for applying the **ARIMA** model were the following:

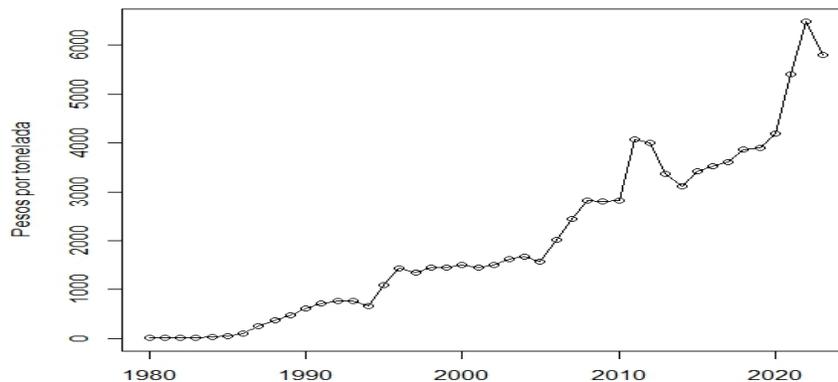
- First, after a literature review, the previous findings suggest the use of **ARIMA** estimation techniques to deal with data that exhibits a time-series component. Previous evidence show that **ARIMA** models outperform other forecast techniques such as regression analysis or canonical regressions when dealing with time series data.
- Second, the price data on corn was analyzed and after a visual inspection, one can conclude that the data is non-stationary. This was confirmed by the Dickey-Fuller test (Dickey & Fuller, 1979).

- Third, since data is non-stationary and a trend is observed, the data was differentiated to eliminate the trend. The Dickey-Fuller test was conducted again to confirm that data is stationary.
- Fourth, the autocorrelation function (ACF) and partial autocorrelation (PACF) tests were performed to indicate the possible ARIMA models to estimate.
- Fifth, the ACF and PACF indicate the p , d , q parameters to include in the estimation of the ARIMA model. Several models were estimated, including one suggested by the auto.arima function in R software.
- Sixth, following the principle of parsimony and a residual analysis, the model ARIMA (1,1,0) was elected as the one that best fits the data. This model was employed for the forecasting of corn prices.
- Seventh, using the ARIMA(1,1,0) model, a two-period forecast is estimated. Also, spot forecasts and confidence intervals are calculated at the 90% and 95% levels.

5. RESULTS

The time series of the price of grain corn shows an upward trend as shown in **Figure 8**.

Figure 8. Time series of the rural average price of grain corn (1980-2023)

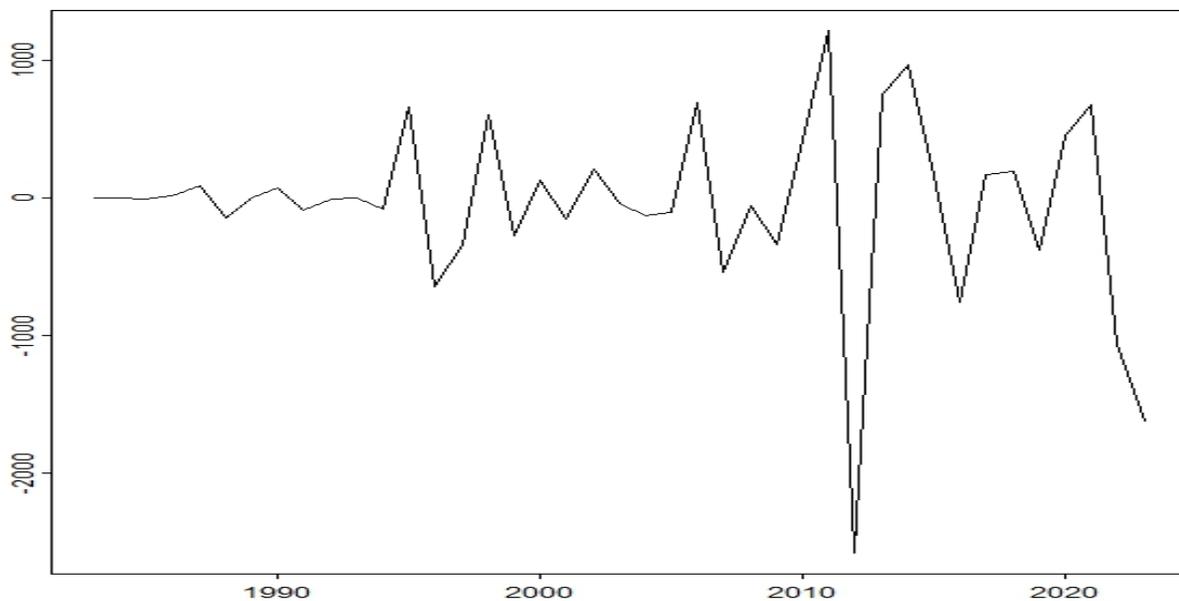


Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

This was verified by means of the Dickey-Fuller test (Dickey & Fuller, 1979), which yields a value of -1.72 and a p-value of 0.68, which indicates that the series is not stationary. When a trend is observed, it can become stationary by means of differentiation.

A difference was applied to the time series and the Dickey-Fuller test is repeated (see **Figure 9**). The results indicate a stationary series with a 90% confidence level. The value of the Dickey-Fueller test is -3.25 with a p-value of 0.09.

Figure 9. Time series with a difference in the rural average price of grain corn (1980-2023)

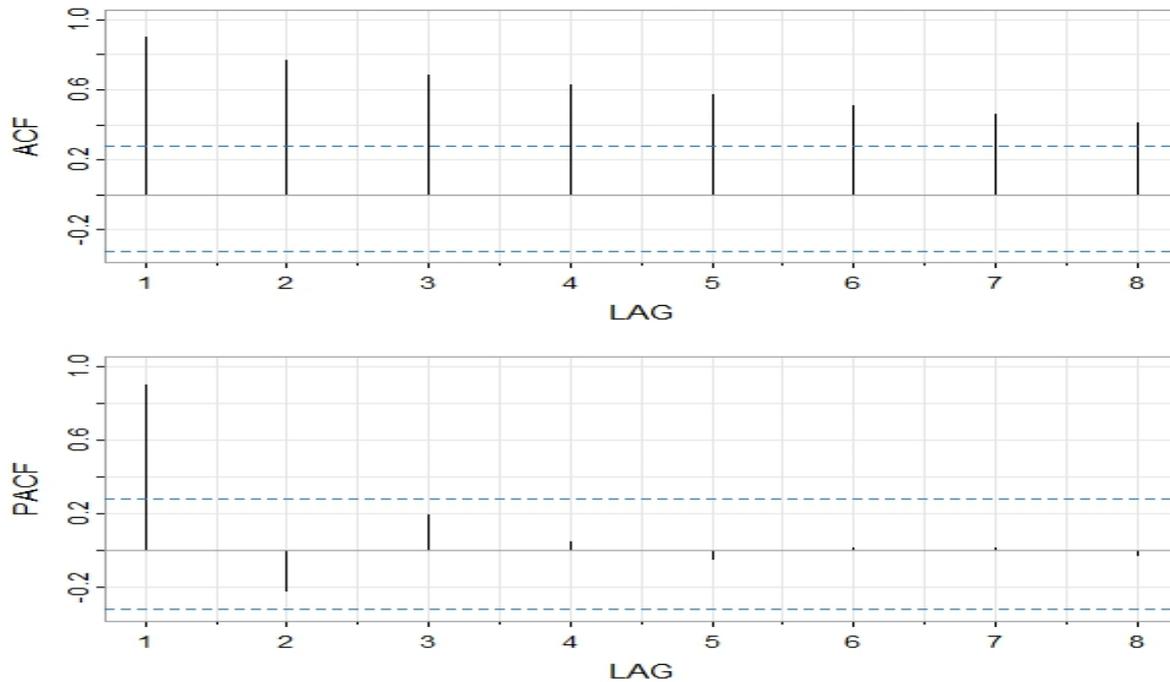


Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

To know the values of the **ARIMA** process (**p**, **d**, **q**), the autocorrelation function (**ACF**) and partial autocorrelation (**PACF**) tests were reviewed. The results of the **ACF** suggest the order of the moving average process (**q**) and the **PACF** informs us of the order of the autoregressive process (**p**). If we observe a gradual decrease in **ACF** and **PACF**, it indicates an **ARIMA** process(**p,q**); in the case of a gradual decrease in **ACF** and sudden cut-off of **PACF**, it indicates that an **AR(p)** process is observed; finally, a gradual decrease in the **PACF** and a sudden cut in the **ACF** will indicate that we are in an **MA(q)** process.

The results of the **ACF** and **PACF** are shown in **Figure 10** and point to a gradual fall in the **ACF** and 1 peak outside the significance bands in the **PACF** process with a sudden drop. This suggests that we are in an autoregressive process of order one with a differentiation in the series. That is, an **ARIMA(1,1,0)**.

Figure 10. ACF and PACD Tests of the Rural Average Price of Grain Maize Time Series (1980-2023)



Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

Several models were run in addition to the **ARIMA** (1, 1, 0) to compare them with each other. R-studio and the "forecast" package has a function called "auto.arima" in which simulations are run to find the parameters (p, d, q) of a time series. The result of the auto.arima function was an **ARIMA** model(0, 1, 2). In addition, **ARIMA**(0, 1, 0) and **ARIMA**(1, 1, 2) models were run.

The comparison of the models was made using the Akaike criterion (**AIC**), the principle of parsimony and the post-estimation results of the residuals. The results of the **AIC** for the different models are presented in **Table 2**. The **AIC** shows us a goodness of fit where the lower value of the **AIC** represents a better fit of the model.

According to the AIC criterion, the model that best fits the data is the ARIMA(0, 1, 2). However, when reviewing the post-estimation tests of the errors, it was found that the ARIMA model(1, 1, 0) exhibits white noise in the errors. The above under the ACF tests on errors and according to the p-values of the Ljung-Box statistic. Finally, following the principle of parsimony, the ARIMA model is decided (1, 1, 0).

Table 2. ARIMA Model AIC of the Rural Average Price of Grain Corn Time Series (1980-2023)

ARIMA Model	AIC
(0, 1, 0)	14.71
(1, 1, 0)	14.74
(0, 1, 2)	14.56
(1, 1, 2)	14.58

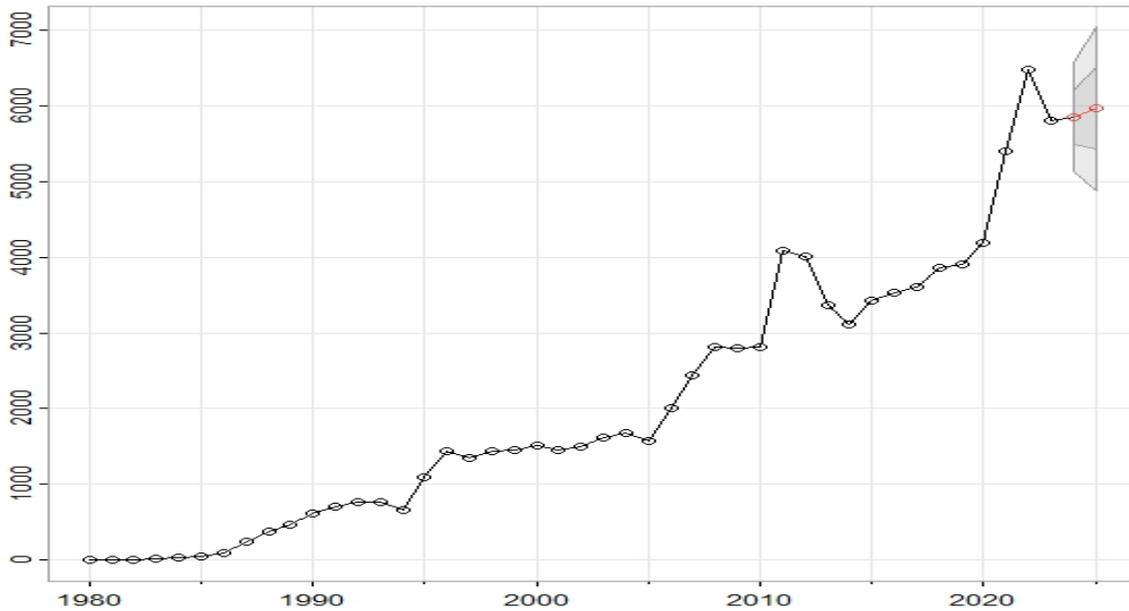
Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

Taking into account the above results, a forecast model is run for two periods using the ARIMA(1, 1, 0). The results are shown in Figure 11 and Table 3. The results of the model predict an increase in prices per ton of grain corn during the years 2024 and 2025.

Specifically, for 2024 the forecast price is \$5,843.1 pesos per ton and for 2025 the price is forecast at \$5,962.9 pesos per ton.

Taking the estimated standard errors for each year (2024 and 2025) of the model, confidence intervals were constructed at 90% and 95% of the predicted values of the price of grain corn, the results are presented in Table 3.

Figure 11. Rural Average Grain Corn Price Time Series Forecast (1980-2023)



Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

Table 3. ARIMA Model AIC of the Rural Average Price of Grain Corn Time Series (1980-2023)

	Spot forecast	90% confidence interval		95% confidence interval	
2024	MX\$5,843.10	MX\$5,484.70	MX\$6,201.50	MX\$5,126.30	MX\$6,559.90
2025	MX\$5,962.90	MX\$5,423.90	MX\$6,501.90	MX\$4,884.90	MX\$7,040.90

Source: Author's elaboration with data from SIACON (2024) using the statistical software R-Studio version 2023.06.0.

6. DISCUSSION

The importance of corn for Mexico transcends its economic value. It is a staple in Mexican gastronomy and a symbol of the culture of this country. However, during the last decades, dependence on foreigners to supply the growing domestic demand for the grain has increased. This has also had repercussions for domestic producers, who do not have the technological or productive capacities to compete in international markets.

When analyzing the productivity in the planting, harvesting and marketing of grain corn, it was found that the price of this responds to national and international supply and demand forces.

The domestic price shows variations in different regions; however, in real terms there is a general stagnation in the price with an average real annual growth of 2.2% over the last 20 years.

The results of the econometric analysis present forecasts for 2024 and 2025 in the price of corn using an **ARIMA** model. Forecasts indicate that the price of corn could be between \$5,126 to \$6,560 pesos in 2024 and between \$4,885 and \$7,041 in 2025 with a 95% confidence interval.

The **ARIMA** model is a univariate technique, so the future use of multivariate techniques such as **VAR** models could be recommended. In addition, given the richness of the database presented by SIACON (2024), spatial panel data could be worked on to incorporate the data with the cross-section at the state level and also look for possible spatial dependencies in the data.

The analysis is performed from a multidisciplinary approach, by using econometric tools in the forecast of prices in an agricultural commodity. The results may be used for sustainable development in the area of agricultural policy, specifically in poverty reduction by giving more certainty in the price range to small farmers in Mexico. The results are inserted in previous literature that employs **ARIMA** model in agricultural forecasts (Jadhav, et al., 2017; Yasmin & Moniruzzaman, 2024).

The study innovatively applies the **ARIMA** model—traditionally used in economic and financial contexts—to agricultural price forecasting. This cross-disciplinary application enhances the analytical framework available to researchers and practitioners in the agricultural sector, enabling more accurate and data-driven decisions (Jadhav, et al., 2017).

The study innovatively applies the **ARIMA** model, a statistical technique traditionally used in economic and financial contexts, to agricultural price forecasting. This cross-disciplinary application enhances the analytical framework available to researchers and practitioners in the agricultural sector, allowing for more accurate and data-driven decisions related to corn prices in Mexico. Furthermore, integrating the **ARIMA** model with sustainable agricultural practices represents a unique blend of statistical modeling and sustainability, providing a comprehensive approach to tackling price volatility in agriculture. The use of such advanced predictive tools in the agricultural sector can foster innovative solutions to longstanding problems of price volatility and market uncertainty (Yasmin & Moniruzzaman, 2024).

By utilizing time-series analysis through the **ARIMA** model, the study demonstrates improved forecasting capabilities compared to traditional forecasting methods. This innovation in predictive analytics allows stakeholders to make more informed decisions based on projected price trends, thereby optimizing their production and marketing strategies.

The research adopts a multidisciplinary approach, integrating perspectives from agricultural economics, sustainability, and statistical modeling. This integration fosters innovative solutions by leveraging diverse expertise to address complex problems within agricultural practices and policies (Pardey et al., 2013).

Hence, the contributions to Sustainable Development Goals (**SDGs**) (UN, 2015) are the following:

Goal 1: No Poverty. By forecasting corn prices and reducing uncertainty, the study aids smallholder farmers in planning their harvests and sales. This can help improve their income stability, thereby contributing to poverty alleviation in agricultural communities.

Goal 2: Zero Hunger. Corn is a staple food in Mexico. The ability to predict price trends can help ensure that food supply chains remain stable, enhancing food security. Policymakers can use the findings to implement strategies that guarantee affordable access to essential food items, contributing to improved nutritional outcomes.

Goal 12: Responsible Consumption and Production. The research supports sustainable agricultural practices by providing insights into production planning and market dynamics. Encouraging efficient resource use and reducing waste in the agricultural sector aligns with responsible consumption and production targets outlined in the **SDGs**.

Goal 13: Climate Action. By focusing on price volatility, the study indirectly addresses climate resilience in agriculture. As the **ARIMA** model includes historical data that reflect climate impacts on yield and prices, it helps stakeholders understand how climate variability may influence future agricultural outcomes, driving proactive adaptation and mitigation strategies.

Goal 17: Partnerships for the Goals. Through its application of multidisciplinary research, the study promotes collaboration between various stakeholders, including academia, policymakers, and agricultural practitioners. This cooperation is essential for achieving comprehensive solutions for sustainable development in agriculture.

Overall, the study makes significant contributions to innovation by applying advanced predictive tools in agriculture, fostering a multidisciplinary approach, and enhancing data-driven decision-making. In terms of sustainable development goals, it addresses critical issues such as poverty alleviation, food security, responsible production, and climate resilience, thus contributing to a more sustainable and equitable agricultural future in Mexico and beyond. The results support and advance the previous findings in this field (Jadhav, et al., 2017; Yasmin & Moniruzzaman, 2024).

6.1 Theoretical implications

The result reached in this study have important theoretical implications. As with many agricultural products, corn prices are determined by laws of supply and demand. However, the price determination is more complex when these forces are influenced by government policies and programs as well as trade agreements. Added to this, market forces may be altered by consumer preferences, the changing needs of end users and factors affecting the production process (for example, weather, soil erosion, input costs, etc.).

The findings presented in the study effectively illustrate the integration of the ARIMA model with sustainable practices to forecast corn prices in Mexico, echoing the insights from various authors referenced throughout the research. For instance, the study builds on the work of Box et al. (2015), demonstrating the utility of the ARIMA model for time series analysis, which is crucial for understanding price fluctuations in agricultural commodities. It aligns with Jadhav et al. (2017) and Yasmin & Moniruzzaman (2024), who highlight the advantages of employing ARIMA models to accurately predict agricultural prices and yield, ultimately underscoring the model's relevance in policy-making and sustainability efforts. The research reveals significant findings, including an anticipated increase in corn prices for 2024 and 2025, with forecasts indicating a range of \$5,126 to \$6,560 per ton in 2024 and \$4,885 to \$7,041 in 2025. This price prediction not only sheds light on the current volatility faced by farmers but also suggests that accurate forecasting can reduce uncertainty, thereby aiding smallholder farmers in planning and decision-making. Ultimately, the study contributes to achieving Sustainable Development Goals (SDGs 1 and 2) by supporting food security and poverty reduction through informed agricultural practices and policies (United Nations, 2015).

Determining prices with forecast models has been applied to many agricultural commodities including corn. This study provides further evidence of how to apply time-series models to forecast corn prices in the Mexican market and how to model the behavior of prices using **ARIMA** estimation techniques.

For example, price volatility in maize affects farmers' income stability and decision-making. Therefore, applied **ARIMA** models to forecast agricultural yield may illustrate how price forecasting tools can guide policy initiatives regarding production. (Yasmin & Moniruzzaman, 2024; Agbo, 2023).

ARIMA models provide a powerful method for forecasting agricultural prices compared to regression models (López-García et al., 2021; Maiga, 2024). This technique also allows us to address the complexity of agricultural markets by using advanced statistical models. Previous studies highlight that understanding dynamics through advanced inferential statistical methods increases understanding of agricultural production and pricing mechanisms (Bezabih et al., 2023).

The literature review supports the idea that the **ARIMA** model is a valuable forecasting tool in agriculture, particularly maize, with multifaceted implications for sustainability, economic stability, and informed policymaking, as demonstrated through the evidence and studies cited by various authors.

The multidisciplinary approach, provides an innovative way of employing econometric tools for time-series analysis in the price forecasts of agricultural products. The results may be used for sustainable development policy in the area of agricultural poverty reduction by reducing price uncertainty for small farmers.

6.2 Practical implications

The estimation of forecast models may be applied to decision making especially in the agricultural sector. Understanding price dynamics of corn results in powerful information valuable to policymakers, agricultural stakeholders and researchers. The results are useful to guide policy, programs and projects aimed to enhancing agricultural productivity and food security particularly in developing nations. For example, related to problems regarding expenditure of households on food (Guimond-Ramos et al., 2023) or the degradation and sustainability of agricultural practices (Valdez-Galvez et al., 2023).

The foundational theory presented previously by Box et al. (2015) explains the Box-Jenkins methodology, emphasizing the model's relevance in both academic and real-world scenarios, reflecting its utility in addressing price fluctuations and informing sustainable agricultural practices with practical implications.

The multidisciplinary approach employed in this study has a social impact by providing valuable information for sustainable development policy. This may, in turn, impact agricultural poverty reduction by reducing price uncertainty for small farmers.

7. CONCLUSION

This section of the study is structured to provide a comprehensive overview of the key findings and their implications for agricultural policy and practice in Mexico. It begins by summarizing the main conclusions regarding the projected trends in corn prices for 2024 and 2025, emphasizing both the anticipated upward trajectory and the inherent price volatility that farmers face. Following this, the section discusses the methodological significance of employing the **ARIMA** model, underscoring its effectiveness in addressing price uncertainty within the agricultural sector.

Additionally, the conclusions highlight the broader implications for sustainable development, particularly in relation to food security and poverty reduction among smallholder farmers. The section also acknowledges the limitations of the study, suggesting areas for future research, such as the exploration of regional price variations, thereby emphasizing the ongoing need for innovative approaches to enhance resilience in agriculture. Overall, the conclusions serve as a bridge connecting the study's theoretical contributions with practical applications aimed at fostering sustainable agricultural practices in Mexico.

7.1 How answer the question and explain the research hypothesis.

Mexico has increased its dependence on corn imports due to insufficient domestic production of the grain. By 2024, a deficit of 900 million tons needed to meet domestic demand could be reached. By employing the **ARIMA** model to forecast prices of corn, the study has shown that price uncertainty may be dealt with using time-series analysis forecast tools. This is part of a growing literature that employs time-series econometric tools to the agricultural sector. The study has shown that given the current volatility and uncertainty in the price of corn in Mexico, the

ARIMA model may be used to forecast corn prices in Mexico from a multidisciplinary approach with sustainable development policy implications.

The hypothesis related to the research question posed in this study is the following, **H**: “*Given the current volatility and uncertainty in corn prices in Mexico, the integration of the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) model with sustainable agricultural practices will effectively forecast corn prices, thereby providing valuable insights for reducing price volatility and uncertainty faced by farmers. This will ultimately contribute to more informed decision-making in agricultural policy and practice, promoting sustainable development within the agricultural sector*” is proved in the study by demonstrating the effectiveness of the **ARIMA** model in forecasting corn prices and its integration with sustainable agricultural practices. The integration of the **ARIMA** model with sustainable agricultural practices has effectively forecasted corn prices in Mexico, providing valuable insights that reduce price volatility and uncertainty faced by farmers. Consequently, this integration has contributed to more informed decision-making in agricultural policy and practice, promoting sustainable development within the agricultural sector.

The study uses the ARIMA (1,1,0) model, determined to best fit the data based on the Akaike Information Criterion (AIC), residual analysis, and the principle of parsimony. The model predicts an increase in corn prices for 2024 and 2025, providing farmers and policymakers with valuable insights into future price trends. By showing that the **ARIMA** model can handle price volatility and uncertainties, the study supports informed decision-making for agricultural policies that aim to promote sustainability. The research highlights how this method can inform resource optimization and contribute to the Sustainable Development Goals, emphasizing its multidisciplinary approach while enhancing economic stability for smallholder farmers.

7.2 Research findings

From the data analyzed, we can observe that there is a stagnation in the real marketing prices of grain corn in Mexico. The real annual growth is 2.2% for the last 20 years. Price heterogeneity is also observed in different regions, and local and international supply and demand forces appear to influence market price determination. In recent years, geo-political conflicts have put upward pressure on prices.

The results contribute to a theoretical discussion on employing statistical tools to reduce market uncertainty on agricultural commodities. The study has included a multidisciplinary approach by provide empirical practical results on corn prices for decision making. The results are innovative in using the **ARIMA** statistical tool to analyze a specific commodity (corn) in a specific market (Mexico) a multidisciplinary approach with sustainable development policy implications.

The results of the corn price forecasts point to an upward trend for the years 2024 and 2025 where the price could reach between \$5,126 to \$6,560 pesos in 2024 and between \$4,885 and \$7,041 by 2025.

7.3 Research final scope

The conclusions of the study suggest an upward trend in corn prices for 2024 and 2025, however, price stagnation and uncertainty is observed. Although government policies have introduced price guarantees for corn in Mexico, they only cover less than 3% of total production. A limitation of the study lies in observing overall corn prices in Mexico, future studies should analyze price divergence by regions or states in Mexico. Also, a spatial analysis may result in observing underlying forces that determine the price of corn in Mexico.

8. REFERENCES

- Agbo, H.M.S. (2023). Forecasting agricultural price volatility of some export crops in Egypt using ARIMA/GARCH model. *Review of Economics and Political Science*, 8(2),123-133. <https://doi.org/10.1108/REPS-06-2022-0035>
- Banco Mundial (2024). *PIB, UMN a precios constantes - Mexico*. Retrieved February 18, 2024, from: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KN?locations=MX>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time Series Analysis Forecasting and Control* (5th ed.). Wiley. DOI:10.1111/jtsa.12194
- Bezabih, G., Wale, M., Satheesh, N, Fanta, S. W. and Atlabachew, M. (2023). Forecasting cereal crops production using time series analysis in Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(2), 546-559. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.07.001>
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2019). *Plan Nacional de Desarrollo*. Retrieved July 12 2024, from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. <https://doi.org/10.2307/2286348>

- Food and Agriculture Organization (FAO, 2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Guimond-Ramos, J.C., Borbon-Morales, C.G., & Mejia-Trejo, J. (2023). Variations in the expenditure of Mexican households on foods with a high energy content, 2016-2020. *Scientia et PRAXIS*, 3(05), 1-25. <https://doi.org/10.55965/setp.3.coed1.a1>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2024). Banco de Información Económica Bank. Retrieved March 17, 2024, from: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#bodydataExplorer>
- Jadhav, V., Chinnappa-Reddy, B. V., & Gaddi, G. M. (2017). Application of ARIMA Model for Forecasting Agricultural Prices. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 981-992. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-2638-en.html>
- López-García, M.R., Martínez-Damián, M. A., & Arana-Coronado, J. J. (2021). Predicción del Maíz en México. *Agrociencia*, 55(8), 733-746. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2665>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. DOI: 10.1126/science.1204531
- Maiga, Y. (2024). Temporal Forecast of Maize Production in Tanzania: An Autoregressive Integrated Moving Average Approach. *Journal of Agricultural Studies*, 12(2), 118-131. <https://doi.org/10.5296/jas.v12i2.21679>
- Martínez-Damián, M.A. & Brambila-Paz, J.J. (2023). Modeling of nominal vs real price predictors applied to corn, wheat and barley in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 295-301. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2933>
- Morales, R. (2023, February 7). Mexico increases dependence on imported corn. *El Economista*. Retrieved April 11, 2024 from: <https://www.economista.com.mx/empresas/Mexico-bate-record-en-importaciones-de-maiz-a-pesar-de-arancel-y-decreto-20231002-0134.html>
- Pardey, P. G., Alston, J. M., & Chan-Kang, C. (2013). Public Agricultural R&D over the past half century: An emerging new world order. *Agricultural Economics*, 44(s1), 103-113. <https://doi.org/10.1111/agec.12055>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2021). *Agri-food Regions of Mexico*. Retrieved February 28, 2024, from: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/regiones-agroalimentarias-de-mexico?idiom=es>
- Seguridad Alimentaria Mexicana (SAM, 2022). *Guaranteed prices program for basic food products*. Retrieved March 13, 2024, from: <https://www.cmdrs.gob.mx/sites/default/files/cmdrs/sesion/2021/12/06/2682/materiales/programa-precios-garantia-2021-maiz.pdf>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved February 8, 2024, from: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Thistleton, W. y Sadigov, T. (2023). *Practical Time Series Analysis*. Coursera. <https://www.coursera.org/learn/practical-time-series-analysis>
- U.S. Department of Agriculture (USDA, 2023). *World Agricultural Supply and Demand*

Estimates. Retrieved August 8, 2024, from:

https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/comm_chartview.aspx?cropid=0440000®ionid=us&nationalGraph=False&cntryid=USA&sel_year=2022&startRow=1&fctyp eid=19&fcattributeid=10

United Nations (UN, 2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Retrieved August 18, 2024, from:

<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

Valdez-Galvez, M.J., Coronado-Gonzalez, Y.U.K. & Camarena-Gomez, B.O. (2023).

Environmental degradation and sustainability in areas with intensive agricultural practices of Sonora, Mexico. *Scientia et PRAXIS*, 3(05), 26-50.

<https://doi.org/10.55965/setp.3.coed1.a2>

Yadav, S., Mishra, P., Kumari, B., Shah, I.A., Karakaya, K., Shrivastri, S., Fatih, C., Ray, S. & Khatib, A.M.G.A. (2022). Modelling and Forecasting of Maize Production in South Asian Countries. *Economic Affairs*, 67(04), 519-531.

DOI: 10.46852/0424-2513.4.2022.18

Yasmin, S., & Moniruzzaman, Md. (2024). Forecasting of area, production, and yield of jute in Bangladesh using Box-Jenkins ARIMA model. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 1-14.

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101203>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol.04. No.08. Jul-Dec (2024): 96-126

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a4>

eISSN: 2954-4041

Fostering Sustainable Development Through Social Innovation: The Role of Cultural Values in Entrepreneurial Intentions

Fomento del Desarrollo Sostenible a través de la Innovación Social: El Rol de los Valores Culturales en la Intenciones Emprendedora

Pedro Daniel Aguilar-Cruz. ORCID [0000-0002-1396-2482](https://orcid.org/0000-0002-1396-2482)

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA)

Universidad de Guadalajara (UdeG), Guadalajara, Jalisco, México

Email: daniel.cruz@udg.mx

Alejandro Campos-Sánchez. ORCID [0000-0001-8768-3104](https://orcid.org/0000-0001-8768-3104)

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA)

Universidad de Guadalajara (UdeG), Guadalajara, Jalisco, México

Email: a.campos@cucea.udg.mx

Keywords: cultural values, entrepreneurial intentions, social innovation

Palabras Clave: valores culturales; intención emprendedora, innovación social

Received: 23-Jun-2024; **Accepted:** 7-Oct-2024

ABSTRACT

Context. The study analyses how cultural values on the entrepreneurial intentions of university students in public and private institutions in Jalisco, Mexico, may lead a path to social innovation, based on the Theory of Planned Behavior.

Problem. Despite the growing emphasis on entrepreneurship education, the impact of cultural values on students' entrepreneurial intentions remains unclear. This research explores how autonomy, hierarchy, and egalitarianism shape students' aspirations.

Purpose. The research seeks to examine the multidisciplinary nature of cultural values and their relationship with entrepreneurial intentions. It specifically addresses **SDGs 4, 8 and 9**.

Methodology. A quantitative survey was distributed to 1,438 university students in Jalisco, Mexico, during 2023-2024. The data were examined through exploratory factor analysis and linear regression to identify the relationships between cultural values and entrepreneurial intentions. Reliability was assessed using Cronbach's alpha, while validity was established through factor loadings.

Theoretical and Practical Findings. Cultural values like integration and mastery positively influence entrepreneurial intentions, while egalitarianism showed a negative impact. These results contribute to the understanding of how cultural contexts shape entrepreneurial behavior, with practical implications for fostering entrepreneurship in educational settings, aligned with the SDGs; leading students' behavior to a social innovation path.

Originality based on a multidisciplinary approach that promotes innovation for sustainable development. This research integrates multidisciplinary perspectives to promote social innovation and sustainable development, highlighting the unique role of cultural values in shaping entrepreneurial intentions.

Conclusions and limitations. The study concludes that while cultural values significantly impact entrepreneurial intentions, though the influence varies by dimension. However, as the research focuses on a single region, future studies should explore other cultural contexts to generalize findings.

RESUMEN

Contexto. El artículo examina cómo los valores culturales influyen en la intención emprendedora (**IE**) de estudiantes universitarios en instituciones públicas y privadas de Jalisco, México, convirtiéndose en una alternativa en busca de la innovación social, basado en la Teoría del Comportamiento Planificado

Problema. A pesar del énfasis en la educación para el emprendimiento, el impacto de los valores culturales en la **IE** de los estudiantes seguía siendo poco claro. Esta investigación exploró cómo la autonomía, la jerarquía y el igualitarismo influyen en los estudiantes.

Propósito. La investigación tuvo como objetivo examinar la multidisciplinariedad de los valores culturales y su relación con la **IE**. Aborda específicamente los **ODS 4, 8 y 9**.

Metodología. Se distribuyó una encuesta cuantitativa a 1,438 estudiantes de Jalisco México, durante los años 2023-2024. Los datos fueron analizados mediante análisis factorial exploratorio y regresión lineal para identificar las relaciones entre los valores culturales y la **IE**. La confiabilidad se realizó a través del alfa de Cronbach y la validez mediante análisis factorial.

Hallazgos Teóricos y Prácticos. La Integración y el dominio influyeron positivamente en las intenciones emprendedoras, mientras que el igualitarismo tuvo un impacto negativo. Estos hallazgos contribuyeron a comprender como influye la cultura en el comportamiento emprendedor y las implicaciones prácticas para fomentar el emprendimiento en entornos educativos, alineados con los **ODS**, contribuyendo a un escenario de innovación social.

Originalidad. Esta investigación promueve la innovación social alineada con los **ODS**, destacando el papel de los valores culturales en la formación de intenciones emprendedoras.

Conclusiones y Limitaciones. Los valores culturales impactan significativamente en las intenciones emprendedoras, aunque varían según la dimensión. Se sugirió explorar otros contextos en investigaciones futuras.

1. INTRODUCTION

Currently, entrepreneurial culture is progressively identified as a critical factor in promoting economic growth and fostering innovation in modern societies (Bosma et al., 2021). Universities play a fundamental role in promoting entrepreneurship, particularly among young students who represent a high-potential segment of the population for starting new businesses (Rambe & Mosweunyane, 2017). Aguilar-Rosado & Campos (2024), highlights the importance of cultural and gender factors, aligning with the need for public policies that promote equality and female entrepreneurship, thus contributing to the Sustainable Development Goals. This paper explores how cultural values, such as autonomy, hierarchy, and egalitarianism, influence the entrepreneurial intentions of higher education students in the state of Jalisco, Mexico, leading regions to a social innovation process.

The relevance of this study lies in its focus on the intersection between culture and entrepreneurship, an area that has received limited attention in the existing literature. The research aligns with the United Nations' Sustainable Development Goals (**SDGs**) (United Nations, 2015), specifically **SDG 4** (Quality Education), **SDG 8** (Decent Work and Economic Growth), and **SDG 9** (Industry, Innovation, and Infrastructure) (United Nations, 2015). By examining the cultural dimensions that shape entrepreneurial intentions, this research offers valuable insights into how educational institutions can foster an entrepreneurial mindset that drives sustainable development and social innovation.

The problem this research addresses is the unclear extent to which cultural values within universities influence students' entrepreneurial intentions. Despite the growing emphasis on entrepreneurship in academic settings, there is a lack of comprehensive studies that explore the cultural factors at play. This gap in the literature has been recognized in recent systematic reviews, which highlight the need for more research on the intersection of culture and entrepreneurship (Banha et al., 2022). This research fills that gap by investigating the specific cultural dimensions that may either encourage or hinder entrepreneurial intentions among students.

This study is valuable and original because it integrates multidisciplinary perspectives to analyze a critical issue at the intersection of culture and entrepreneurship as triggers of social innovation. The findings have the potential to inform educational policies and programs aimed at fostering a more robust entrepreneurial culture within universities, ultimately contributing to

sustainable economic development. The research question guiding this study is: How do cultural values within universities impact the entrepreneurial intentions of students?

2. CONTEXT

Entrepreneurship is acknowledged worldwide as a fundamental catalyst for economic growth and innovation. The Global Entrepreneurship Monitor (**GEM**) 2023/2024 report underscores the significance of entrepreneurial activities worldwide, highlighting how these activities are influenced by a combination of individual traits, cultural values, and institutional frameworks. According to **GEM** (2023), regions that prioritize innovation and entrepreneurship experience higher economic growth rates, especially in environments where supportive policies and cultural values align to foster entrepreneurial behavior.

On an international level, cultural values have been shown to play a critical role in shaping entrepreneurial intentions. The **GEM** report indicates that countries with high levels of individualism and autonomy typically exhibit stronger entrepreneurial ecosystems, as these cultural traits encourage risk-taking and innovation. Conversely, cultures that prioritize collectivism and stability might see lower levels of entrepreneurial activity due to a preference for security and existing structures.

Focusing on Mexico, the "Radiografía del Emprendimiento en México 2023" report provides a comprehensive overview of the entrepreneurial landscape in the country. This report reveals that entrepreneurship in Mexico has been growing steadily, with a cumulative growth rate of 59.7% in the number of businesses between 2003 and 2018. However, there are significant regional disparities, with states like Jalisco, often referred to as the "Silicon Valley of Mexico," leading in entrepreneurial activity due to better infrastructure, support systems, and a strong emphasis on innovation.

In Jalisco, the local government and academic institutions, including universities, have been actively promoting entrepreneurship. The report notes that Jalisco has seen an increase in tech startups and innovation hubs, positioning it as a leader in the country's entrepreneurial ecosystem. The educational programs in universities are particularly focused on fostering an entrepreneurial mindset, encouraging students to engage in entrepreneurial activities that contribute to both local economic growth and the broader goals of sustainable development.

Locally, within the universities of Jalisco, entrepreneurship is not only encouraged but is increasingly becoming integrated into the academic curriculum. However, the "Radiografía del

Emprendimiento en México" report highlights that there is still a need to better understand how cultural values within these educational settings influence students' entrepreneurial intentions. The report suggests that while there is a growing entrepreneurial spirit among students, cultural factors such as family expectations, societal norms, and regional economic conditions play a significant role in either supporting or hindering entrepreneurial ambitions (ASEM, 2024).

This study is particularly relevant in the context of the Sustainable Development Goals (SDGs), specifically **SDG 4** (Quality Education), **SDG 8** (Decent Work and Economic Growth), and **SDG 9** (Industry, Innovation, and Infrastructure). By examining how cultural values impact entrepreneurial intentions in the region, this research contributes to a broader understanding of how educational policies and practices can be aligned with these global goals to foster sustainable economic development and social innovation through entrepreneurship.

3. LITERATURE REVIEW

In the last two decades, the concept of social innovation has emerged in different fields of knowledge as a paradigm that allows justifying and recognizing different creative processes, such as entrepreneurship, associated with the search for better living conditions and to face today's social challenges (Campos & Flores, 2024).

A broader perspective of social innovation considers it as a process of systemic transformation that seeks to change the underlying social structures and relationships that perpetuate social problems. Mulgan et al. (2007) define it as a process of change that transforms social norms, values, institutions and structures to promote inclusion, equity and sustainability.

On the other hand, entrepreneurial culture is defined as a set of values, attitudes, and **behaviors** that foster initiative, creativity, and risk-taking, contributing to economic growth and sustainable development (Lin & Koh, 2019; Masroor & Asim, 2019). This culture fosters resilience and adaptability, as individuals with this mindset tend to be more proactive and action-oriented in the face of challenges (Duchek, 2020; Bullough et al., 2014).

Several factors influence the promotion of an entrepreneurial culture as a path to social innovation. Programs that encourage creativity and problem-solving significantly contribute to

developing an entrepreneurial mindset. Recent studies emphasize that creativity and problem-solving skills are crucial in fostering entrepreneurial behavior, with educational programs playing a key role in nurturing these abilities (Bayraktar, 2016). Additionally, fostering creativity has been identified as a critical factor that mediates the link between a willingness to embrace change and an innovative entrepreneurial culture (Danish et al., 2019).

Institutional support and access to resources are crucial for fostering entrepreneurial ecosystems. Recent studies emphasize that business ecosystems that provide strong support networks, comprehensive training, and accessible financing create environments conducive to the emergence and growth of new businesses. These ecosystems not only promote opportunity-driven entrepreneurship but also contribute to sustainable economic development by integrating institutional quality and sustainability orientations into their frameworks (Urbano et al., 2020; Fuentelsaz et al., 2015).

Beyond economic impact, an entrepreneurial culture fosters social development and value creation by encouraging individuals to pursue innovative solutions to societal challenges, thus promoting social equity and inclusion (Zahra & Wright, 2016). Studies emphasize that entrepreneurship can reduce social inequalities by fostering social inclusion and economic opportunities, especially in marginalized communities (Danish et al., 2019). Entrepreneurial initiatives also play a significant role in revitalizing communities by diversifying the economic base and creating employment opportunities, particularly in regions facing economic decline (European Commission, 2024).

Fostering a robust entrepreneurial culture requires the involvement of all societal sectors, including government, business, education, and civil society. Lakner et al. (2024) emphasize the importance of coordinated efforts between these sectors, highlighting that a collaborative approach is essential for creating an active entrepreneurial ecosystem that fuels economic progress and social advancement.

3.1. Cultural Values

Cultural values are fundamental principles, beliefs, and norms that shape how individuals perceive the world and interact with others (Hofstede, 1980). These values, transmitted through socialization and education, influence various aspects of life, including relationships, religious

practices, politics, and economics. For example, cultural values determine the importance placed on family, work, religion, and education, as well as the norms of behavior deemed appropriate in different social contexts (Hampden-Turner & Trompenaars, 2020).

Cultural values also shape responses to social issues like poverty, gender inequality, and discrimination. In societies that prioritize solidarity and common welfare, policies promoting equality and social justice are more likely to emerge (Schwartz 2014). These values provide a shared framework that promotes social cohesion, cultural identity, and strong democratic institutions.

3.2. Cultural values within universities

Universities, as microcosms of society, reflect and promote cultural values that influence their functioning and the experiences of their members. These values shape interactions among students, faculty, and staff, and influence institutional policies and learning environments. Fostering an inclusive environment is essential for preparing students to navigate a globalized world. This involves integrating diverse perspectives into institutional policies and practices, ensuring that universities not only promote academic excellence but also equity and social justice (Marginson, 2021; Egron-Polak, 2021).

Cultural diversity enriches the university experience by providing multiple perspectives, though it can also lead to tension if not managed with mutual respect. Promoting intercultural dialogue and integrating diverse perspectives into the curriculum are essential for fostering an inclusive university culture that prepares students for a globalized world (Buitendijk et al., 2019)

3.3. Entrepreneurial culture at universities

Universities are vital in nurturing an entrepreneurial culture by encouraging creativity and supporting innovation. They act as central hubs within the Triple Helix model, driving collaboration between academia, industry, and government to catalyze new ventures and technological advancements (Guerrero et al., 2016; Hausberg & Korreck, 2020). Key strategies include integrating entrepreneurship education into the curriculum, creating innovation spaces like incubators and labs, and promoting collaboration between students, academics, and businesses (Fayolle & Gailly, 2008; Guerrero et al., 2016).

Universities can also enhance entrepreneurial culture by engaging with the business sector and local communities, organizing events and competitions that encourage networking and idea exchange. Professors and academics serve as role models and mentors, guiding students in developing their entrepreneurial ideas. By fostering an entrepreneurial mindset and providing the necessary tools and resources, universities contribute significantly to innovation and economic development.

3.4. Entrepreneurial intention

Entrepreneurial intention is a complex phenomenon significantly shaped by cognitive and affective components, such as personal attitudes toward entrepreneurship, societal norms, and perceived control over entrepreneurial behavior. These factors interact to form a comprehensive understanding of what drives individuals to pursue entrepreneurial activities (Liñán & Fayolle, 2015; Meoli et al., 2020). These factors play a crucial role in driving the creation and growth of new businesses and innovative projects, making entrepreneurial intention a key predictor of economic and social development in a society (Cable & Judge, 2018; Chan et al., 2021).

Individual characteristics such as self-efficacy, innovativeness, and risk tolerance play a significant role in shaping entrepreneurial intention (Ajzen, 1991). Those with high self-efficacy and a strong orientation toward innovation are more likely to pursue entrepreneurship. Additionally, the socioeconomic and cultural environment can significantly influence entrepreneurial intention.

According to the Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991), attitudes, social norms, and perceived behavioral control affect a person's willingness to start a business. Chan et al. (2021) shows that environments that foster entrepreneurship through education, policy, and social networks significantly enhance individuals' intentions to start new ventures.

Entrepreneurial intention is also an early indicator of a region's or country's potential for economic growth and development. Entrepreneurs with strong intentions are more willing to take risks and pursue opportunities, contributing to the emergence of new industries, job creation, and wealth generation (Urbano et al., 2020; Kautonen et al., 2015).

In the university context, fostering entrepreneurial intention among students is vital. Universities provide a unique combination of resources, knowledge, and opportunities that can

nurture future entrepreneurs (Liñán & Fayolle, 2015). By offering business education, support programs, and access to networks, universities play a crucial role in forming entrepreneurial intentions.

To enhance entrepreneurial intention in universities, it is essential to integrate entrepreneurship education into the curriculum, create innovation spaces, and promote collaboration among students, academics, and businesses.

The interaction between entrepreneurial intention and cultural values within universities is complex. Cultural values that promote innovation, creativity, and risk-taking can stimulate entrepreneurial intention, while values emphasizing stability and security may hinder it.

Universities that foster an entrepreneurial culture can enhance the likelihood of students and alumni creating and growing new businesses, whereas more conservative institutions may limit such opportunities.

3.5. Theory of planned behavior and subjective norm

The Theory of Planned Behavior (TPB) is a theoretical framework developed by Icek Ajzen in the 1980s that seeks to explain and predict human behavior as a function of attitudes, social norms and perceived control over desired behavior.

TPB is based on the premise that human behavior is determined by the intention to carry out a specific action. This intention, in turn, is influenced by three main factors: attitudes toward the action, subjective norms, and perceived behavioral control (Ajzen, 1991).

Attitudes toward the action: This refers to a person's evaluation of the action in question. This includes the perception of whether the action is favorable or unfavorable, and the appraisal of the possible outcomes associated with it. Recent research emphasizes that this evaluation is significantly influenced by beliefs about the benefits and costs associated with entrepreneurship, as well as by past experiences and perceptions of success or failure in entrepreneurship. For example, individuals who perceive entrepreneurship as an opportunity for success and personal fulfillment are more likely to develop positive attitudes toward entrepreneurial activities, thereby increasing their intention to pursue such ventures (Liñán & Fayolle, 2015; Santos & Linán, 2016).

Perception of behavioral control: Refers to the individual's belief in having the necessary resources and capabilities to undertake a specific action. It encompasses the perception of control

over factors that could either facilitate or impede the execution of the action. Within the realm of entrepreneurial behavior, perceived control denotes the individual's confidence in their ability to launch and successfully manage a business venture. This perception of control can be shaped by factors like self-efficacy, prior entrepreneurial experience, resource accessibility, and the broader economic and political environment. When individuals perceive themselves as competent and adequately equipped, they are more inclined to form stronger entrepreneurial intentions (Newman et al., 2019).

Subjective norms: Refers to the perception of social expectations and perceived social pressure to perform the action. This includes the influence of the opinions and expectations of significant others in the individual's social environment. Subjective norms for entrepreneurship, refer to an individual's perception of social expectations and the opinions of significant others regarding the decision to start a business project. These norms may include the influence of family, friends, mentors and other role models in the individual's environment (Liñán & Chen, 2009). If a person perceives that his or her social environment values and supports entrepreneurship, he or she is more likely to develop a stronger entrepreneurial intention.

This theory has been extensively applied to comprehend and predict human behavior across various contexts, including entrepreneurship. It posits that the intention to engage in a specific action serves as the strongest predictor of future behavior, shaped by three key factors: attitude toward the behavior, subjective norms, and perceived behavioral control.

For this study we will focus on the Subjective Norm element, directly associated with the perception of our environment about entrepreneurial behavior as the theoretical basis that supports the influence that a series of cultural values in the university environment may have on the prediction of students' entrepreneurial intention.

In the realm of entrepreneurship, subjective norms are pivotal in shaping entrepreneurial intentions. Social pressure and the expectations of others can substantially impact an individual's decision to initiate a business or venture. For example, if an individual perceives that his or her family, friends, or colleagues support and value entrepreneurship, he or she is more likely to develop greater entrepreneurial intention (Liñán & Chen, 2009).

Numerous studies have highlighted the considerable impact of subjective norms on entrepreneurial intentions. Evidence suggests that perceived social support from family and friends

notably strengthens an individual's entrepreneurial intentions. Additionally, subjective norms, such as the expectations of one's social circle, are strong predictors of entrepreneurial intention among university students (Khuong & An, 2016; Tornikoski & Maalaoui, 2019).

3.6. Relationship of the SDGs with Entrepreneurial Intentions

The United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs) (United Nations, 2015) offer an extensive framework for tackling social, economic, and environmental challenges. This study examines the entrepreneurial intentions of university students and their direct links to several SDGs, particularly SDGs 4, 8, and 9. Exploring how cultural values influence these intentions allows for a better understanding of how universities can actively contribute to sustainable development.

SDG 4 (Quality Education): Education promotes skills and knowledge that foster an entrepreneurial mindset (Lans et al., 2014). Universities can enhance entrepreneurship education by integrating cultural values into educational programs, preparing students to address global challenges. Previous studies (Fayolle & Gailly, 2015) have demonstrated that entrepreneurship education grounded in local culture and context improves students' ability to identify opportunities and generate innovative solutions. Furthermore, including topics such as innovation and sustainability in curricula not only fosters critical thinking but also aligns education with the principles of SDG 4.

SDG 8 (Decent Work and Economic Growth): Entrepreneurship is vital for economic development and creating quality jobs. Students' entrepreneurial intentions, influenced by cultural values, can contribute to sustainable economic growth (Acs et al., 2014). According to the **GEM (2023)** report, entrepreneurial ecosystems that value autonomy and innovation tend to drive job creation and economic development. This study adds to the existing evidence by highlighting those cultural values, such as integration and mastery, can positively shape entrepreneurial intentions. This suggests that universities can act as engines of economic development if they align their education with these values.

SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure): Entrepreneurial intentions are inherently linked to innovation. Recent research has shown that creating an ecosystem for innovation, such as incubators, accelerators, and technology hubs, is crucial in supporting new ventures (Hausberg &

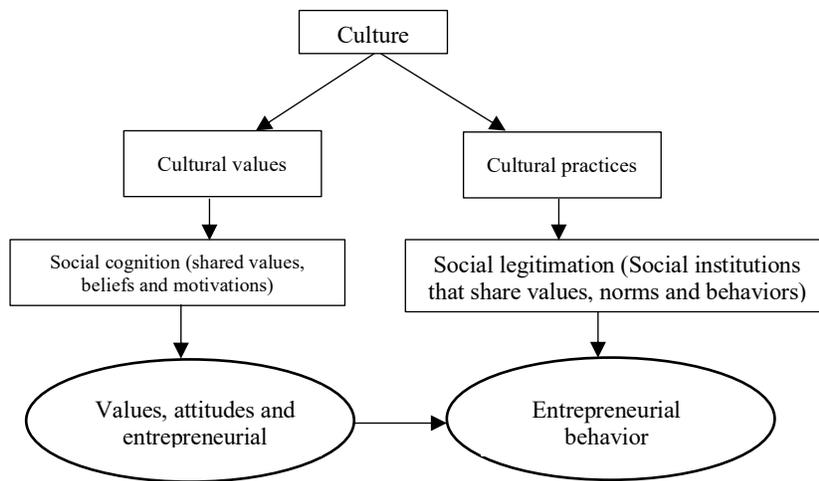
Korreck, 2020; Salido et al., 2019). These structures enable entrepreneurs to access resources, mentorship, and collaborative networks. Additionally, cultural values like autonomy and creativity play a significant role in forming an entrepreneurial mindset that drives sustainable innovation. Universities, therefore, are pivotal in achieving **SDG 9** by providing spaces for experimentation and learning, helping students apply their entrepreneurial skills to develop sustainable solutions (Siegel & Wright, 2015).

3.7 Hypotheses

Cultural values in universities can influence the subjective norm of individuals and, therefore, their entrepreneurial intention. For example, in societies where entrepreneurship is valued and innovation and creativity are promoted, students are more likely to perceive greater social support and positive pressure to be entrepreneurial (Liñán & Chen, 2009).

In addition, cultural values significantly influence the perception of social norms and the expectations of others regarding entrepreneurship. In university environments that actively foster an entrepreneurial culture and provide institutional support, students are more likely to perceive favorable subjective norms towards entrepreneurship, leading to a stronger intention to pursue entrepreneurial activities (Shirokova et al., 2016; Walter et al., 2020) (see **Figure 1**).

Figure 1. Influence of culture in entrepreneurship



Note: Retrieved from *A proposed model for the culture's mode of influence on the entrepreneurial process*, Liñán, F. & Jaén, I., 2018. In *A Research Agenda for Entrepreneurial Cognition and Intention*, Edward Elgar Publishing.

In this sense, the general hypothesis of this research is that, **GH**. “*The cultural values perceived by university students have a positive impact on their entrepreneurial intention*”.

Research based on Schwartz's value theory, has shown that cultural values can influence a wide range of human behaviors, including those related to consumption, politics, work and interpersonal relationships and entrepreneurship (Roccas et al., 2002).

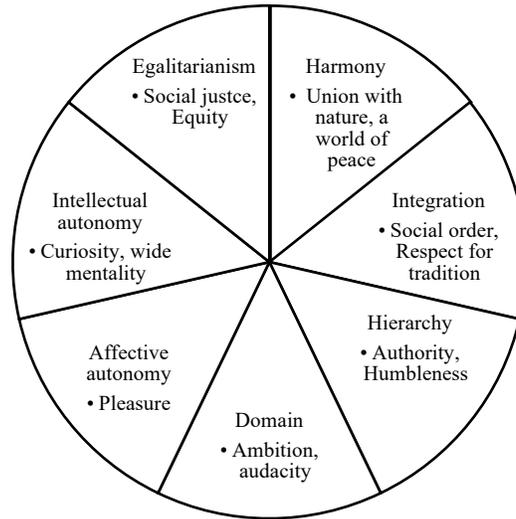
Under the same context Thurik & Dejardin (2011), state that there are three theories in which an analytical framework of the influence of culture on entrepreneurship can be provided: an aggregate psychological trait approach, a social legitimacy and moral approval approach, and a dissatisfaction approach. The psychological trait approach is based on the assumption that cultural differences between regions are likely to have an effect on a range of individual behaviors, including entrepreneurship, i.e., for a region, the more entrepreneurial values that exist in a society, the more individuals will exhibit behavioral traits in favor of entrepreneurship, such an approach can be viewed from a highly individualistic aspect of culture.

The second approach, social legitimization and moral approval, is based on the fact that there is a greater propensity for entrepreneurship in societies in which the entrepreneur or businessman is associated with a high social status, with an educational system that recognizes and supports entrepreneurship, as well as fiscal incentives that encourage entrepreneurial activity (Etzioni, 1987), i.e., social legitimization or moral approval of entrepreneurship can be reflected in regions where there is an impact on entrepreneurship by culture and institutions (Thurik & Dejardin, 2011). It is important to note that both psychological traits and social legitimization are explained by the push and pull factors, which are explained in previous chapters.

The third approach, dissatisfaction, is the opposite of the two previous ones, since it is determined by the different entrepreneurial activities carried out by the regions, which is linked to the different values and beliefs held by the entrepreneurs and society in general, thus suggesting that in a culture where non-entrepreneurship is a predominant action, the clash of values between different groups can lead to an action of creating a company (Baum et al., 2014).

Schwartz (2014), postulates that the dimensions of cultural values are a reflection of the problems that society faces in regulating human activity, for which he proposes 7 types of cultural values: Intellectual Autonomy, Affective Autonomy, Egalitarianism, Harmony, Integration, Hierarchy and Dominance, based on the basic problems that societies must face (see **Figure 2**).

Figure 2. Schwartz' model of cultural values



Source: Schwartz (2006b).

The primary challenge faced by any society is defining the relationship between the individual and the group, this contrast defines the possibility of conflict between personal and group interests and which have a higher priority, in addition to the autonomy that a person has in a social group, at this cultural level I call Autonomy and Integration (Schwartz, 2014). Regarding autonomy, the cultures in which this cultural value predominates develop their own ideas, abilities, preferences in a singular way and in which two types of autonomy stand out. Intellectual autonomy motivates people to focus on their own ideas and intellectual directions, such as open-mindedness, curiosity and creativity.

The second autonomy is called affective autonomy which refers to individuals pursuing positive experiences for themselves (Schwartz, 2006). Cultural value of integration emphasizes the importance of social networks formed through the participation and identification of individuals within a group, where lifestyle and shared goals created a sense of community. This collective mindset involves values like social order, adherence to traditions, and the pursuit of security (Schwartz, 2006).

In societies where integration is a dominant cultural value, there tends to be greater support for entrepreneurial ventures, particularly small-scale initiatives that address communal problems. Consequently, entrepreneurship in these communities is often more prevalent than in those where

autonomy is the dominant cultural value (Fernández-Serrano & Liñán, 2014). From this understanding, the following hypotheses are proposed:

H1a: *“The cultural value of integration has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

H1b: *“The cultural values of affective and intellectual autonomy have a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

Schwartz (2006) states that the second problem faced by all societies lies in preserving responsible behavior in order not to fracture the social fabric; therefore, it is essential to encourage individuals to collaborate in order to develop the well-being of all, and this action must be coordinated with everyone. Schwartz proposes two polar dimensions for this problem, on the one hand, hierarchy, a cultural value that focuses on the "legitimacy of an unequal distribution of power, roles and resources (social power, authority, humility, wealth)" (p.27), hierarchy relies on power differences within structured systems, where roles enforce responsibility in individuals' behavior. This structure facilitates socialization and sanctions to ensure adherence to social norms (Schwartz, 2014)

The second dimension called egalitarianism, this cultural value "seeks to induce people to recognize themselves as moral equals who share basic interests as human beings" Schwartz (2006, p. 141), that is, people have a commitment to generate a common good for which they cooperate and show concern for the welfare of all and their actions are oriented to the benefit of all, the values that stand out in this society are equality, social justice, honesty, etc. (Schwartz, 2006).

In addition to the above, societies where egalitarianism predominates show a greater acceptance for entrepreneurship as they are cultures that encourage cooperation to achieve the objectives of a person, while in cultures where hierarchy predominates, individuals show passive postures accepting their socioeconomic status unlike a culture of egalitarianism seek to improve it in the possibility of their goals (Schwartz, 2006; Fernández-Serrano & Liñán, 2014), based on the above the following hypotheses are established:

H2a: *“The cultural value of egalitarianism has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

H2b: *“The cultural value of hierarchy has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

The third problem that all societies have is the relationship that individuals have with the natural and social world, can be seen by two cultural dimensions: dominance and harmony. The cultural value of dominance is based on maintaining control, directing and changing the socio-cultural environment for individual and group interests, based on ambition, success, audacity and competition. On the other hand, the cultural dimension called harmony, refers to the adaptation that an individual has to his world as it is, based on understanding and appreciation for things, values such as a world of peace, unity with nature and environmental protection are predominant in these cultures (Schwartz, 2006).

Liñan et al. (2013) state that since entrepreneurship represents changes in market conditions and in the economy, societies in which dominance predominates show a higher valuation towards entrepreneurship as these individuals manage to modify, direct and exploit their social and environmental settings in order to achieve their goals (Schwartz, 2006), while harmony represents the appreciation and understanding of social and environmental settings, which makes it passive towards change, recalling Schumpeter's theory, entrepreneurship must be able to change current situations, therefore, the following hypotheses are proposed:

H3a: *“The cultural value of mastery has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

H3b: *“The cultural value of harmony has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”*

4. METHODOLOGY

This study follows a quantitative method, exploring the linkage between seven cultural dimensions (Egalitarianism, Hierarchy, Harmony, Mastery, Affective Autonomy, Intellectual Autonomy, and Integration) and entrepreneurial aspirations, grounded in the Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991). This investigation is both correlational and exploratory, highlighting its pioneering nature in addressing a relatively unexplored issue.

The survey targeted undergraduate students from three higher education institutions in Jalisco, Mexico, during the 2023-2024, identifying them as the demographic for this study. The research tool comprised a questionnaire, tailored to Spanish to assess entrepreneurial intentions as suggested by Liñan & Chen (2009), and to gauge cultural values, the framework developed by Schwartz

(2006) was used. The questionnaire was divided into two segments: the first section included six statements on a Likert scale ranging from 1 to 7, designed to predict entrepreneurial intentions; the second section featured 47 Likert-scale items reflecting personal values as behaviors or principles that guide individuals' lives. In total, 1,438 questionnaires were distributed.

The data was analyzed using SPSS Statistics 29.0 software, involving two key processes. Initially, a dimension reduction analysis was performed using factor analysis for the items representing cultural values and entrepreneurial intentions. Subsequently, the analysis focused on correlational studies and linear regression to examine the relationships between the variables.

The demographic profile of the survey participants indicates a gender distribution of 593 males (42.1%) and 817 females (57.9%). In terms of age, a significant portion of the respondents, 907 (64.3%), were aged between 20 and 22 years. The 17 to 19 years age group consisted of 284 individuals (20.3%), the 23 to 25 years age bracket included 182 participants (12.9%), and a smaller segment of 37 respondents (2.5%) were over 26 years old. Regarding academic disciplines, the students' fields of study were diverse: 632 (44.82%) were from the economic and management sciences; health sciences accounted for 145 (10.28%); biology had 69 students (4.89%); arts, architecture, and design were chosen by 168 students (11.91%); exact sciences and engineering attracted 248 students (17.59%); and social sciences and humanities comprised 148 students (10.50%). On average, participants were in their fifth semester of study, with a standard deviation of ± 2.52 .

5. RESULTS

The initial stage of the results evaluation concentrated on dimensionality reduction through factor analysis, employing a **KMO** correlation matrix and Bartlett's test of sphericity. This process was iterated a maximum of 50 times to ensure convergence, applying a varimax rotation for clarity. Reliability was gauged using the Cronbach's alpha coefficient. Throughout this phase of reduction, the Kaiser-Meyer-Olkin measure for sampling adequacy consistently exceeded 0.80, indicative of a highly significant outcome with a p-value less than 0.001. During this process, variables were not discarded; rather, items were grouped into broader variables to streamline the analysis. The findings from this stage are detailed in **Table 1**.

Table 1. Factor loadings and Cronbach's alfa for independent and dependent variable

Cultural Values (CV)	Loadings	Cronbach's Alfa
<i>What values are most important to you as principles that guide your life?...</i>		
Egalitarianism		
Equality	.657	
Social Justice	.737	.700
Honest	.654	
Help	.756	
Responsible	.739	
Hierarchy		
Social power	.802	.699
Wealth	.691	
Authority	.716	
Harmony		
Union with nature	.813	.760
A world of beauty	.741	
Environmental protector	.780	
Affective and Intellectual Autonomy		
Pleasure	.690	
An exciting life	.649	.690
Enjoy life	.570	
Freedom	.681	
Integration		
Honor the elders	.568	
Compliant	.595	.613
Devout	.782	
Not spiteful	.594	
Mastery		
Independent	.698	
Ambitious	.618	.790
I choose my own goals	.735	
Capable	.724	
Successful	.662	
Entrepreneurial Intention		
I am ready to do anything to be an entrepreneur	.699	.937
My professional goal is to become an entrepreneur	.856	

I will make every effort to start and run my own company	.930
I am determined to create a firm in the future	.934
I have very seriously thoughts of starting a business	.887
I have the firm intention to start a business some day	.916

Source: own elaboration from SPSS 29.0 output

To assess the influence of cultural values on entrepreneurial intentions, a linear regression analysis was performed using the study's variables. The results reveal a positive relationship between cultural values and the entrepreneurial intentions of undergraduate students. However, this association is not markedly strong, suggesting that the values, as expressed within the cultural context of the Mexican student cohort, does not serve as a strong predictor of entrepreneurial ambitions.

Furthermore, the analysis uncovered that the Cultural Values pertaining to Integration and Mastery exert a favorable yet modest effect on Entrepreneurial Intentions. Notably, the analysis revealed a slight negative influence of the cultural value Egalitarianism on Entrepreneurial Intentions, with a Beta coefficient of -.088.

Conclusive insights were also drawn from a subsequent correlational analysis, as presented in **Table 2**. The analysis confirmed that an increase in Cultural Values correlates with an upsurge in Entrepreneurial Intentions, given the positive nature of all the correlations observed.

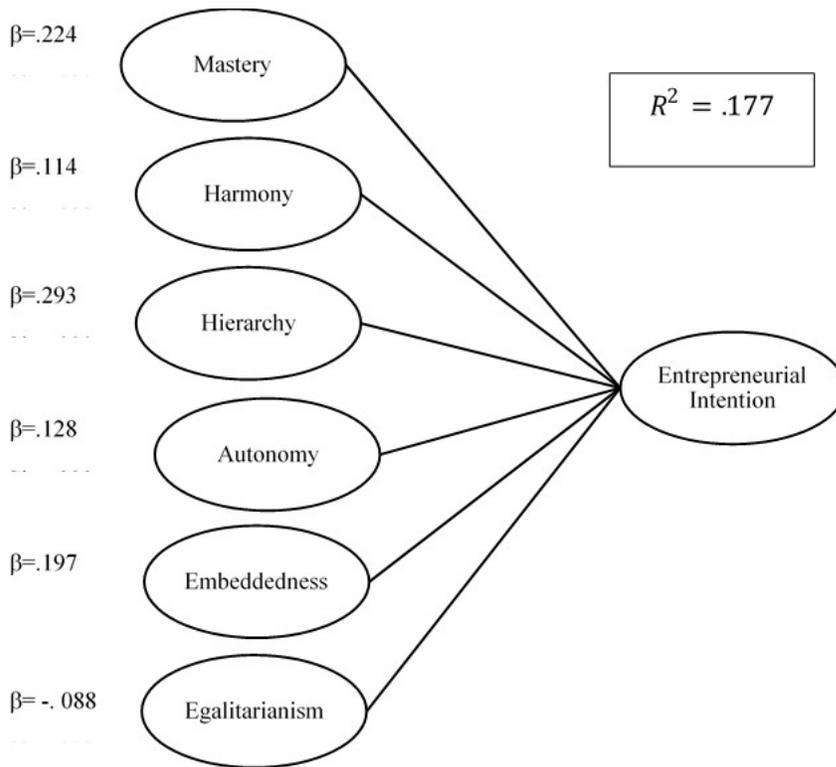
Table 2. Results of linear regression model

Dependent Variable	R ² adjusted	Sig
Entrepreneurial intention	.177	.000
Independent Variable	Beta	Sig
Mastery	0.224	.000
Harmony	0.114	.000
Hierarchy	0.293	.000
Affective & Intellectual Autonomy	0.128	.000
Integration	0.197	.000
Egalitarianism	-0.088	.009

Source: own elaboration from SPSS 29.0 output

The model resulting from the experiment is presented below, showing the significant explanatory capacity of the model on the dependent variable. As mentioned, all the cultural values show a positive significant relationship, except for the egalitarianism value, which shows a negative value, although with a very slight loading (see **Figure 3**).

Figure 3. Model of the experiment



Source: Own elaboration from SPSS Statistics 29.0 output

Table 3 summarizes the results of the linear regression analysis testing the study’s hypotheses on the influence of cultural values on entrepreneurial intentions. Beta coefficients (β) and R^2 values were calculated to assess whether each cultural value had a positive or negative impact. Based on these results, the hypotheses were either accepted or rejected.

Table 3. Table of acceptance or rejection of hypotheses

Hypotheses	Results	Conclusion
GH: <i>The cultural values perceived by university students have a positive impact on their entrepreneurial intention.</i>	$R^2 = .177$	Partially accepted
H1a: <i>“The cultural value of integration (embeddedness) has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”</i>	$\beta=.197$	Accepted
H1b: <i>“The cultural values of affective and intellectual autonomy have a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”</i>	$\beta= .128$	Accepted
H2a: <i>“The cultural value of egalitarianism has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”</i>	$\beta=-.088$	Rejected
H2b: <i>“The cultural value of hierarchy has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”</i>	$\beta= .293$	Accepted
H3a: <i>“The cultural value of mastery has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”</i>	$\beta=.224$	Accepted

H3b: “The cultural value of harmony has a positive impact on the entrepreneurial intention of university students.”	$\beta=.114$	Accepted
--	--------------	----------

Source: Own elaboration

6. DISCUSSION

This study explores the influence of cultural values on entrepreneurial intentions among university students in Jalisco, Mexico. By integrating the Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991) (TPB) with cultural dimensions, it offers insights into how values like autonomy, hierarchy, and egalitarianism shape students' entrepreneurial aspirations. This section discusses the theoretical and practical implications of the findings, emphasizing their contribution to innovation for sustainable development.

6.1. Theoretical Implications (*Scientia*)

The results of this research offer a detailed insight into the impact of cultural values on entrepreneurial intentions. By incorporating cultural values into the TPB framework, this study extends its applicability in entrepreneurship research. The results align with Schwartz's cultural dimensions theory (Schwartz, 2006), confirming that values such as autonomy and mastery significantly influence entrepreneurial intentions, consistent with prior studies (Liñan & Fayolle, 2015). However, the observed negative impact of egalitarianism offers new insights, suggesting that in contexts like Mexico, where traditional and hierarchical values are more deeply rooted, egalitarianism may hinder entrepreneurial activity.

The implications of these findings for social innovation in sustainable development are profound. This study contributes to the multidisciplinary approach by highlighting the intersection between cultural studies and entrepreneurship. By understanding how values like integration, hierarchy, and autonomy drive entrepreneurial behavior, it enriches theoretical models in entrepreneurship research. This aligns with the principles of sustainable development, emphasizing how cultural factors can influence pathways toward environmental sustainability, social equity, and economic growth (Guerrero et al., 2016).

The research suggests that incorporating cultural dimensions into TPB not only enhances the understanding of entrepreneurial intentions but also provides a framework for exploring the cultural determinants of social innovation. For example, recognizing that autonomy and mastery promote

entrepreneurial activities implies that fostering these values within a cultural context can support the development of sustainable enterprises (Stephan & Uhlaner, 2010). This theoretical contribution offers a new direction for studies on social innovation, proposing that cultural values serve as critical variables in shaping the entrepreneurial landscape. It opens possibilities for constructing models that better account for cultural contexts, contributing to both entrepreneurship theory and broader fields like cultural studies and education.

Furthermore, this study challenges the traditional view of entrepreneurship as merely an economic phenomenon by introducing a cultural and social dimension. It demonstrates that entrepreneurship is a complex interplay of individual intentions, cultural norms, and social structures. This perspective is crucial for developing new theoretical models that explain the varying success of entrepreneurial initiatives in different cultural contexts. By advancing this understanding, the research provides a more holistic framework for promoting innovation for sustainable development.

6.2. Practical Implications (Praxis)

From a practical perspective, the findings carry important implications for educational institutions and policymakers. The research confirms that cultural values are pivotal in influencing entrepreneurial intentions, suggesting that entrepreneurship education programs need to align with the cultural context of students. In the case of Jalisco, fostering autonomy, integration, and mastery within educational settings can promote innovation and contribute to sustainable development. This aligns with **SDG 4** (Quality Education), which emphasizes the importance of inclusive and quality education in equipping individuals with the skills necessary for sustainable growth. This is also consistent with Fayolle and Gailly's (2015) argument that context-specific entrepreneurship education significantly enhances program effectiveness.

Educational programs that incorporate experiential learning, mentorship, and creative problem-solving activities are more likely to succeed in environments where hierarchical and autonomous values are prevalent (Ratten, 2017). Implementing such programs encourages students to engage in entrepreneurial ventures that drive economic growth while addressing local social and environmental challenges. For instance, promoting initiatives that emphasize community-based

problem-solving can foster a culture of sustainable entrepreneurship, supporting the goals of the circular economy and **SDG 8** (Decent Work and Economic Growth), and **SDG 4** by improving the quality and relevance of educational practices..

Moreover, the study suggests that policymakers should consider cultural values when designing entrepreneurship policies. By fostering autonomy and hierarchy, policies can enhance the effectiveness of entrepreneurship programs and stimulate regional economic growth. This finding is in line with Guerrero et al. (2016), who stress that cultural factors are essential in promoting entrepreneurial activity and innovation. Additionally, supporting student-led initiatives can create a robust entrepreneurial ecosystem that addresses local challenges and drives innovation aligned with **SDG 9** (Industry, Innovation, and Infrastructure). Understanding the cultural context provides a roadmap for designing interventions that promote innovation and sustainable development while upholding the goals of **SDG 4** by ensuring that education is adapted to local cultural contexts, thus enhancing its impact on students' entrepreneurial capabilities.

The practical implications extend to the role of universities as key players in fostering entrepreneurial mindsets. By embedding cultural values into entrepreneurship education, universities can better equip students with the skills needed to launch ventures that not only stimulate economic development but also promote social equity and environmental sustainability (Belz & Binder, 2017). Such educational programs can act as drivers for the development of sustainable entrepreneurial ecosystems tailored to the cultural characteristics of their regions, thereby advancing the objectives of **SDG 4**.

6.3. Contribution to Social Innovation for Sustainable Development

By focusing on how cultural values influence entrepreneurial intentions, this research contributes significantly to the dialogue on social innovation for sustainable development, which emphasizes addressing societal challenges through collaborative and inclusive approaches (Moreno-Ortiz, 2023). It underscores the importance of culturally adaptive entrepreneurship education that aligns with sustainable development goals. The positive impact of values like integration and mastery suggests that educational strategies should promote collective action and strategic thinking to develop ventures addressing environmental and social challenges (Fichter & Tiemann, 2018).

Overall, the study provides actionable insights for universities and policymakers, advocating for a holistic approach that integrates cultural values into entrepreneurship programs. By doing so, institutions can nurture future entrepreneurs who are well-prepared to drive sustainable growth and innovation within their communities.

7. CONCLUSION

In this conclusion, the study's findings are summarized and analyzed, focusing on how cultural values influence the entrepreneurial intentions of university students in Jalisco, Mexico as a strategy to pursue social innovation. The conclusion is structured into three main aspects: First, we address the research question and discuss the confirmation or rejection of the hypotheses. Next, we highlight the key research findings and their significance for both theoretical and practical applications. Lastly, we reflect on the scope and limitations of the study, suggesting areas for further research to explore the relationship between cultural values and entrepreneurship.

7.1. How answer the question and explain the research hypothesis or hypotheses.

This study examines how cultural values influence the entrepreneurial intentions of university students in Jalisco, Mexico as a platform to seek advances in social innovation. The research question focuses on how dimensions such as autonomy, hierarchy, and egalitarianism shape students' entrepreneurial aspirations. The findings confirm that cultural values significantly impact entrepreneurial intentions. Specifically, values like integration and mastery positively affect students' aspirations, while egalitarianism shows a negative influence. These results support the hypothesis that cultural values have a notable effect on students' entrepreneurial intentions. Hypotheses related to the positive impact of integration and mastery were confirmed, while the hypothesis suggesting a positive effect of egalitarianism was rejected. This new knowledge enhances the understanding of the role of cultural context in entrepreneurship, emphasizing the need for universities to foster environments that align with these values. The research is valuable and original due to its multidisciplinary approach and focus on innovation for sustainable development, which are central themes of the journal.

7.2. Research Findings

The main findings highlight that cultural values are essential determinants of entrepreneurial intentions and hence of social innovation. The study presents evidence that values such as autonomy, creativity, and mastery are vital in forming an entrepreneurial mindset. These insights contribute to the theoretical implications (Scientia) by enriching the state of the art on how cultural factors influence entrepreneurship. Practically, the research (Praxis) underscores the importance of designing educational programs that foster an entrepreneurial mindset in alignment with the SDGs. By understanding these relationships, universities can better prepare students to contribute to sustainable economic growth and social innovation.

7.3. Research Final Scope

The study's scope is limited by its focus on a single region and its use of self-reported data, which may introduce biases. Additionally, the research lacks experimental conditions and greater variability in the study subjects, suggesting the need for future studies. Future research should explore other cultural contexts and employ mixed-method approaches to validate these findings. Despite these limitations, this study establishes a robust foundation for understanding the influence of cultural values in shaping entrepreneurial intentions.

8. REFERENCES

- Acs, Z., Autio, E. & Szerb, L. (2014). National Systems of Entrepreneurship: Measurement issues and policy implications. *Research Policy*, 43(3), 476-494.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.08.016>
- Aguilar-Rosado, N. & Campos, A. (2024). Need and opportunity as motivations for female entrepreneurship in Latin America. *Scientia et PRAXIS*, 4(7), 31-57.
<https://doi.org/10.55965/setp.4.07.a2>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 (2), 179-211.
[https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Asociación de Emprendedores de México (ASEM) (2023). Radiografía del Emprendimiento en México 2023. Informe de resultados. México. ASEM.
https://bit.ly/REM2023_Informe
- Banha, F., Coelho, L. S., & Flores, A. (2022). Entrepreneurship education: A systematic literature review and identification of an existing gap in the field. *Education Sciences*, 12(5), 336.
<https://doi.org/10.3390/educsci12050336>
- Baum, J., Frese, M. & Baron, R. (2014). Entrepreneurship as an area of psychology study: An introduction. En J. Baum, M. Frese & R. Baron (Ed). *The organizational frontiers. The*

- psychology of entrepreneurship* (pp. 1-18). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
<https://doi.org/10.4324/9781315750989>
- Bayraktar, S. (2016). Do entrepreneurs really create entrepreneurial cultures? When intentions do not match actions. *Journal Review of Social, Economic and Administrative Studies*, 30(2), 79-98.
<https://doi.org/10.21773/boun.30.2.5>
- Belz, F., & Binder, J. (2017). Sustainable entrepreneurship: A convergent process model. *Business Strategy and the Environment*, 26(1), 1-17.
<https://doi.org/10.1002/bse.1887>
- Bosma, N., Hill, S., Ionescu-Somers, A., Kelley, D., Guerrero, M. & Schott, T. (2021). *2020/2021 Global Report*. Global Entrepreneurship Research Association.
<https://www.gemconsortium.org/report>
- Buitendijk, S., Curry, S. & Maes, K. (2019). *Equality, diversity and inclusion at universities: the power of systemic approach*. LERU.
<https://www.leru.org/publications/equality-diversity-and-inclusion-at-universities>
- Bullough, A., Renko, M., & Myatt, T. (2014). Danger zone entrepreneurs: The importance of resilience and self-efficacy for entrepreneurial intentions. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 38(3), 473-499.
<https://doi.org/10.1111/etap.12006>
- Cable, D., & Judge, T. (2018). Pay preference and job search decisions: A person-organization fit perspective. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, 47, 333-349.
<https://doi.org/10.1007/s43621-021-00058-3>
- Campos, A. & Flores, C. (2024). Alcances e implicaciones de la innovación social en México. *Emprendedores* 207, 38-44.
https://emprendedores.unam.mx/articulo.php?id_articulo=943
- Chan, K., Ho, M., Chernyshenko, O., & Chew, Y. (2021). Examining the influence of individual, social cognitive, and environmental factors on students' entrepreneurial intentions. *Journal of Vocational Behavior*, 81, 73-88.
<https://doi.org/10.1016/j.jvb.2021.06.001>
- Danish, R., Asghar, J., Ahmad, Z., & Ali, H. (2019). Factors affecting “entrepreneurial culture”: The mediating role of creativity. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 8(14).
<https://doi.org/10.1186/s13731-019-0108-9>
- Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research*, 13(1), 215-246.
<https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>
- Egron-Polak, E. (2021). International Education in a Post-Pandemic World. *Journal of Studies in International Education*, 25(5), 427-433.
<https://doi.org/10.1177/10283153211031679>
- Etzioni, A. (1987). Entrepreneurship, adaptation and legitimation: a macro-behavioral perspective. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 8(2), 175-189.
[https://doi.org/10.1016/0167-2681\(87\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0167-2681(87)90002-3)
- European Commission (2024). Initiatives promoting social inclusion and raising awareness. Retrieved on August 28, 2024 from: <https://national-policies.eacea.ec.europa.eu/youthwiki/chapters/malta/45-initiatives-promoting-social-inclusion-and-raising-awareness>)

- Fayolle, A. & Gailly, B. (2015). The impact of entrepreneurship education on entrepreneurial attitudes and intention: Hysteresis and persistence. *Journal of Small Business Management*, 53(1), 75-93.
<https://doi.org/10.1111/jsbm.12065>
- Fernández-Serrano, J. & Liñan, F. (2014). Culture and Entrepreneurship: The case of Latin America. *Innovar*, 24, 169-180.
<http://doi.org/10.15446/innovar.v24n1spe.47616>
- Fichter, K., & Tiemann, I. (2018). Factors influencing university support for sustainable entrepreneurship: Insights from explorative case studies. *Journal of Cleaner Production*, 175, 512-524.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.031>
- Fuentelsaz, L., González, C., Maicas, J., & Montero, J. (2015). How different formal institutions affect opportunity and necessity entrepreneurship. *BRQ Business Research Quarterly*, 18(4), 246-258.
<https://doi.org/10.1016/j.brq.2015.02.001>
- GEM (Global Entrepreneurship Monitor) (2023). *Global Entrepreneurship Monitor 2023/2024 Global Report: 25 Years and Growing*. GEM.
- Guerrero, M., Urbano, D., & Fayolle, A. (2016). Entrepreneurial activity and regional competitiveness: evidence from European entrepreneurial universities. *The Journal of Technology Transfer*, 41, 105-131.
<https://doi.org/10.1007/s10961-014-9377-4>
- Hampden-Turner, C. & Trompenaars, F. (2020). *Riding the waves of culture. Understanding Diversity in Global Business*. John Murray Prese.
https://ocan.yasar.edu.tr/wp-content/uploads/2013/09/Riding-the-waves_Part-1.pdf
- Hausberg, J. P., & Korreck, S. (2020). Business incubators and accelerators: A co-citation analysis-based, systematic literature review. *The Journal of Technology Transfer*, 45, 151–176.
<https://doi.org/10.1007/s10961-018-9651-y>
- Hofstede, G. (1980). *Culture's Consequences: International Differences in Work-Related Values*. Sage. Retrieved on August 28, 2024, from:
<https://doi.org/10.1177/017084068300400409>
- Kautonen, T., van Gelderen, M., & Fink, M. (2015). Robustness of the theory of planned behavior in predicting entrepreneurial intentions and actions. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 39(3), 655-674. <https://doi.org/10.1111/etap.12056>
- Khuong, M., & An, N. (2016). The factors affecting entrepreneurial intention of the students of Vietnam National University—A mediation analysis of perception toward entrepreneurship. *Journal of Economics, Business, and Management*, 4(2), 104-111.
<https://doi.org/10.7763/JOEBM.2016.V4.375>
- Lakner, Z., Temesi, Á., & Lakatos, M. (2024). Development and State of the Art of Entrepreneurship Education: A Bibliometric Review. *Education Sciences*, 14(3), 295.
<https://doi.org/10.3390/educsci14030295>
- Lans, T., Blok, V. & Wesselink, R. (2014). Learning apart and together: Towards an integrated competence framework for sustainable entrepreneurship in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 62, 37-47.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.036>

- Liñán, F., & Chen, Y. W. (2009). Development and cross-cultural application of a specific instrument to measure entrepreneurial intentions. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 33(3), 593-617.
<https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2009.00318.x>
- Liñán, F., & Fayolle, A. (2015). A systematic literature review on entrepreneurial intentions: citation, thematic analyses, and research agenda. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 11(4), 907-933.
<https://doi.org/10.1007/s11365-015-0356-5>
- Liñán, F. & Jaen I. (2018). A proposed model for the culture's mode of influence on the entrepreneurial process. In M. Brännback & A. Carsrud (Eds.), *A Research Agenda for Entrepreneurial Cognition and Intention*. Cheltenham (pp. 62-83). Edward Elgar Publishing.
<https://doi.org/10.4337/9781784716813.00008>
- Marginson, S. (2021). Diversity, Equity, and Inclusion in Higher Education. *International Journal of Educational Development*, 45, 45-56.
<https://doi.org/10.1007/s43621-021-00058-3>
- Masroor, N., & Asim, M. (2019). Fostering standardization and quality in higher education: A students' perspective. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 58(2), 17-31. <https://doi.org/10.46568/jssh.v58i2.4>
- Meoli, A., Fini, R., Sobrero, M., & Wiklund, J. (2020). How entrepreneurial intentions influence entrepreneurial career choices: The moderating influence of social norms and perceived behavioral control. *Small Business Economics*, 54(1), 261-277. <https://doi.org/10.1007/s11187-019-00145-2>
- Moreno-Ortiz, A. (2023). Importance of Agricultural Activity and Social Innovation in Public Research Centers: A Bibliometric Analysis. *Scientia et PRAXIS*, 3(5), 1-33.
<https://doi.org/10.55965/setp.3.05.a1>
- Mulgan, G., Tucker, S., Ali, R. & Sanders, B. (2007). Social Innovation: What it is, why it matters and how it can be accelerated. *The Young Foundation*.
<https://n9.cl/y2vvyx>
- Newman, A., Obschonka, M., Schwarz, S., Cohen, M., & Nielsen, I. (2019). Entrepreneurial self-efficacy: A systematic review of the literature on its theoretical foundations, measurement, antecedents, and outcomes, and an agenda for future research. *Journal of Vocational Behavior*, 110, 403-419.
<https://doi.org/10.1016/j.jvb.2018.05.012>
- Rambe, P., & Mosweunyane, D. (2017). Universities and their role in supporting entrepreneurship development in South Africa. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*.
<https://doi.org/10.1186/s13731-017-00154-8>
- Ratten, V. (2017). Entrepreneurial universities: the role of communities, people and places. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, 11(3), 310-315.
<https://doi.org/10.1108/JEC-03-2017-0021>
- Salido, E., Sabás, M., & Freixas, P. (2019). *The Accelerator and Incubator Ecosystem in Europe*. European Commission. Retrieved on August 28, 2024, from:
<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en>

- Santos, F. J., & Liñán, F. (2016). The impact of cultural values on entrepreneurial intentions: A comparative study of Spain and Portugal. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 5(1), 1-17.
<https://doi.org/10.1186/s13731-016-0034-7>
- Schwartz, S. H. (2006). *Beyond individualism/collectivism: New cultural dimensions of values*. Sage. Retrieved on August 28, 2024, from:
https://www.researchgate.net/publication/234021883_Beyond_IndividualismCollectivism_New_Cultural_Dimensions_of_Values
- Schwartz, S. H. (2006b). A theory of cultural value orientations: Explication and applications. *Comparative Sociology*, 5(2-3), 137-178.
<https://doi.org/10.1163/156913306778667357>
- Schwartz, H. (2014). Cultural values influence and constrain economic and social change. In L. Harris & Y. Yasin (Eds.). *Culture matters: in Russia and everywhere*. Lexington Books.
https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=-6YICgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA287&dq=Cultural+values+influence+and+constrain+economic+and+social+change+schwartz&ots=sQQJ-ChjzO&sig=4VfTelXGvc-axMJ_YSmGikoa_E
- Shirokova, G., Osiyevskyy, O., & Bogatyreva, K. (2016). Exploring the intention–behavior link in student entrepreneurship: Moderating effects of individual and environmental characteristics. *European Management Journal*, 34(4), 386-399.
<https://doi.org/10.1016/j.emj.2015.12.007>
- Siegel, D., & Wright, M. (2015). Academic entrepreneurship: Time for a rethink? *British Journal of Management*, 26(4), 582-595.
<https://doi.org/10.1111/1467-8551.12116>
- Stephan, U., & Uhlaner, L. (2010). Performance-based vs socially supportive culture: A cross-national study of descriptive norms and entrepreneurship. *Journal of International Business Studies*, 41, 1347-1364.
<https://doi.org/10.1057/jibs.2010.14>
- Thurik, R. & Dejardin, M. (2011). The impact of culture on entrepreneurship. *The European Business Review*, 57-59.
<http://www.europeanbusinessreview.com/?p=3380>
- Tornikoski, E. & Maalaoui, A. (2019). Critical reflections – The Theory of Planned Behaviour: An interview with Icek Ajzen with implications for entrepreneurship research. *International Small Business Journal*, 37(5), 536-550.
<https://doi.org/10.1177/0266242619829681>
- United Nations (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Retrieved on August 19, 2024, from:
<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- Urbano, D., Aparicio, S., & Audretsch, D. (2020). Twenty-five years of research on institutions, entrepreneurship, and economic growth: What has been learned? *Small Business Economics*, 53(1), 21-49. <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0038-0>
- Walter, S, Parboteeah, K., & Walter, A. (2020). University support and entrepreneurial intentions: A cross-country perspective. *Academy of Management Learning & Education*, 19(3), 1-28.

<https://doi.org/10.5465/amle.2018.0247>

Zahra, S. A., & Wright, M. (2016). Understanding the social role of entrepreneurship. *Journal of Management Studies*, 53(4), 610–629.

<https://doi.org/10.1111/joms.12149>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol.04. No.08. Jul-Dic (2024): 127-159

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a5>

eISSN: 2954-4041

Factores de influencia en la innovación regional de México para el crecimiento sostenible: Un análisis de 1993 a 2020 y perspectivas futuras

Factors influencing regional innovation in Mexico for sustainable growth: An analysis from 1993 to 2020 and future perspectives

Vicente Germán-Soto: ORCID [0000-0001-5844-1296](https://orcid.org/0000-0001-5844-1296)

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Economía,
Coahuila, México.

e-mail: vicentegerman@uadec.edu.mx

Denysse De Los Santos-Estrada: ORCID [0009-0001-7488-3315](https://orcid.org/0009-0001-7488-3315)

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Economía,
Coahuila, México

email: denysseasantos@uadec.edu.mx

Keywords : regional innovation, count models, patents, regional growth

Palabras Clave : innovación regional, modelos de conteo, patentes, crecimiento regional

Recibido: 31-Jul-2024; **Aceptado:** 6-Nov-2024

RESUMEN

Contexto. Se analizan los factores que influyen en la innovación regional durante 1993-2020. México necesita elevar la innovación para impulsar el crecimiento sostenible que mejore el ingreso y el bienestar, es decir, la innovación contribuye al crecimiento económico inclusivo y sostenido.

Problema. En México existe bajo uso de tecnologías y escasa creación de innovaciones, ¿cuáles serán los factores de mayor influencia?

Objetivo. Se estima el efecto de factores que inciden en la innovación a nivel regional en México durante 1993-2020 desde modelos cuantitativos para fortalecer las capacidades de innovación que impulsen el crecimiento sostenible.

Metodología. Este estudio se realizó en 2024 con modelos de conteo para entender la conducta de patentes y el efecto de sus factores. El modelo contempló la importancia de las vecindades.

Hallazgos Teóricos y Prácticos. La innovación tomó lugar en espacios dinámicamente diversos y geográficamente concentrados (*Scientia*). La relación con innovación es positiva y concentrada principalmente en el centro del país (*Praxis*), por tanto, el crecimiento sostenible también es concentrado.

Originalidad basada en un enfoque multidisciplinario que promueve la innovación para el desarrollo sostenible. El enfoque es multidisciplinario porque se combinan técnicas cuantitativas para entender el crecimiento económico inclusivo y sostenible relacionado a la innovación. Se atienden los objetivos 8 (crecimiento económico, **ODS 8**) y 9 (innovación, **ODS 9**) de desarrollo sostenible. Se demuestra que las formas de innovar y las estrategias para impulsarla son clave.

Conclusiones y limitaciones. Patentamiento e innovación promueven el crecimiento sostenible en línea con los objetivos de crecimiento sostenible. Este trabajo puede extenderse a modelos de conteo de panel.

ABSTRACT

Context. The factors influencing regional innovation during 1993-2020 are analyzed. Mexico needs to increase the innovation to promote the sustainable growth that improves the income and welfare, that is, innovation contributes to inclusive and sustained economic growth.

Problem. In Mexico, a low use of technologies and few innovations creation exists; what will be the most influential factors?

Purpose. The effect of factors affecting innovation at the regional level in Mexico during 1993-2020 is estimated from quantitative models to strengthen innovation capabilities that drive sustainable growth.

Methodology. This study was carried out in 2024 with counting models to understand the patenting behavior and the impact of their factors. The model contemplated the importance of neighborhoods.

Theoretical and Practical Findings. Innovation took place in dynamically diverse and geographically concentrated spaces (Scientia). The relationship with innovation was positive and mainly concentrated in the center of the country (Praxis), so economic growth also is concentrated.

Originality based on a multidisciplinary approach that promotes innovation for sustainable development. The approach is multidisciplinary because it combines quantitative techniques to understand the inclusive and sustainable economic growth related to innovation. The Sustainable Development Goals 8 (economic growth, **SDG 8**) and 9 (innovation, **SDG 9**) are attended. It shows that the ways to innovate and the strategies to promote it are key.

Conclusions and limitations. Patenting and innovation promote sustainable growth in line with the objectives of sustainable growth. This work can be extended to panel counting models.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata con modelos de regresión de conteo binomial-negativo, clásicos y espaciales para analizar los efectos que la educación, el ingreso, la inversión extranjera y los sectores de alta tecnología ejercen en los procesos de innovación regional de México. En toda economía, la innovación es pieza clave para el desarrollo regional (Zinovyeva et al., 2016), ya que incide en el crecimiento económico, eficientiza los procesos de producción y mejora las condiciones de bienestar de la población (OCDE, 2005), pero la innovación, a su vez, es resultado de ciertos factores como la educación, la tecnología y las inversiones. De aquí, entonces, surge la necesidad de identificar cómo impulsar el nivel de innovación que ayude en el crecimiento económico.

Dentro de los objetivos de desarrollo sustentable de las Naciones Unidas (2023), esta propuesta se centra en al menos dos: los objetivos 8 (crecimiento económico, **ODS 8**) y 9 (innovación, **ODS 9**). Uno de los principales ejes de la investigación realizada en las décadas más recientes gira en torno a que el crecimiento económico no puede entenderse sin considerar las características geográficas, así como las causas y consecuencias de la actividad innovadora. Por consiguiente, uno de los factores que explican el estancamiento económico, sobre todo cuando el aumento de las inversiones no logra mejorar el desempeño, es el bajo uso de tecnologías y la escasa creación de patentes (innovación). Esto acentúa la desigualdad regional, lo que en países en desarrollo puede ser de preocupación (Ahlstrom, 2015; León-Balderrama et al., 2024).

En cuanto a México, debemos cuestionarnos, ¿qué elementos determinantes moldean el potencial innovador de las entidades federativas en México?, ¿cómo se vio afectada la innovación en las regiones mexicanas con la crisis financiera del 2008?, ¿qué explica las diferencias de innovación regional?, ¿de qué manera influyen los factores geográficos en la capacidad de innovar e impulsar el crecimiento sostenible?

De acuerdo con algunas teorías (por ejemplo, el crecimiento endógeno), la innovación es un proceso concentrado geográficamente, se presenta en unos pocos países y, al interior de un país, en unas cuantas regiones. Por tanto, se plantea la hipótesis de que en México los procesos de innovación están concentrados en las entidades con mayor capacidad para innovar al presentar niveles más altos de ingreso, educación, inversiones foráneas y sectores de alta tecnología. El objetivo es estimar el efecto de largo plazo de la educación, el ingreso, la inversión extranjera y

la localización de los sectores de alta tecnología en la generación de innovación a nivel regional en México usando datos del periodo 1993-2020.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

La contextualización se aborda en tres secciones. En la primera se revisa el contexto internacional, luego el contexto nacional y, por último, el local.

2.1. Contexto internacional

Bucci et al. (2021) concluyen que la producción de nuevas ideas mediante las patentes y su interacción con el proceso de investigación científica son las impulsoras del crecimiento económico de largo plazo. En Fritz y Günther (2021), la crisis 2008/2009 llevó a que la innovación declinara de manera importante en los países en transición de Europa del Este y Asia Central. La innovación es un factor de fortaleza para las economías regionales, ya que en Bristow y Healy (2018) las regiones europeas que liderean la innovación mostraron mayor resiliencia para salir de la crisis y se recuperaron más rápidamente. En la India, las empresas que exportan e importan tienden a ocuparse más de la innovación (Shepherd, 2017), así la apertura comercial juega un papel clave para mejorar la innovación y el crecimiento económico.

Campo-Robledo y Herrera-Saavedra (2016) analizaron el impacto de las patentes en el crecimiento económico para una muestra de ocho países de Latinoamérica durante 1990-2011. El registro de patentes por parte de extranjeros generó un efecto multiplicador mayor en el PIB, comparado con el de las patentes nacionales. Las patentes constituyeron un factor de crecimiento económico en el largo plazo, pero la intermediación puede representar costos importantes (Bianchi et al. 2021).

Chu et al. (2018) demostraron que mayor protección a las patentes genera un despegue endógeno más rápido, ya que las empresas tienen mayor rentabilidad y con ello, más incentivos para innovar. No obstante, más protección a las patentes puede frenar el crecimiento en el largo plazo. Lo que hace que la relación innovación-crecimiento no sea fácil ni sencilla de entender.

2.2. Contexto nacional

A pesar de que en México la proporción de **I+D a PIB** es baja, comparada con la de los países de la **OCDE**, el financiamiento público a la investigación dentro del sector privado, vinculada con las instituciones de educación, ha mostrado una relación positiva con la innovación, por lo que el apoyo del gobierno es crucial para mejorar los resultados de innovación en el país (Méndez-Delgado, 2018).

La investigación de Ramírez-Álvarez y Terrazas-Santamaría (2020) examinó las tendencias de citación de las patentes originadas en México y registradas ante la oficina estadounidense. Se encontró que las empresas extranjeras patentan inventos más recientes y con mayor valor económico que las empresas mexicanas. Castillo-Esparza et al. (2022) encontraron que el gasto en **I+D** en México ha sido muy irregular, lo que ha generado problemas de mejora en la creatividad y fortalecimiento del papel del capital humano como factor de la innovación.

En Germán-Soto, Soto y Gutiérrez (2021) la innovación imprimió efectos positivos en el crecimiento económico que fueron mayores en las regiones con sectores secundario y terciario más grandes. Además, la relación entre innovación y crecimiento económico se fortaleció con políticas públicas que tomaron en cuenta la diversidad regional del país.

Germán-Soto, Soto y Gutiérrez (2023) analizaron la influencia del financiamiento público mexicano durante 2009-2017. Se encontró que el efecto es positivo en la solicitud de patentes en un entorno en el que el sector de grandes empresas sobresalió por el mayor financiamiento.

2.3. Contexto regional/local

A nivel de entidad federativa de México se ha encontrado poca disposición al conocimiento, lo que repercute en la disminución de incentivos para innovar. Germán-Soto et al. (2009) analizaron los factores que impactan el proceso de innovación regional mexicano, como resultado la inversión extranjera directa y la educación son factores determinantes. Además, la innovación se encuentra concentrada en las regiones centro y occidente debido a las fuerzas de aglomeración.

Germán-Soto y Gutiérrez (2013) señalaron que entre los estados mexicanos los sectores industriales intensivos en tecnología destacan como los principales generadores de innovaciones patentables. También existió una tendencia a la concentración de patentes. En Sánchez-Tovar et al. (2014), la capacidad de innovación regional de México depende en parte de la concentración

de las empresas, así como de la creación de condiciones que propicien las actividades de innovación, como la creación de redes.

Giménez et al. (2017) analizaron los determinantes del patentamiento considerando el número de científicos y la inversión en **I+D**. Ambos factores aumentaron las diferencias, ya que favorecieron a los estados más innovadores.

Las disparidades en la capacidad innovadora entre los estados mexicanos fueron analizadas por León-Balderrama et al. (2018). Almendarez-Hernández (2018) utilizó modelos de conteo para demostrar que los estados que realizan mayores esfuerzos en **I+D** están predispuestos a generar propiedad intelectual. En Beltrán-Morales et al. (2018) existe relación entre crecimiento y desarrollo económico con la innovación cuando esta se midió a través del patentamiento. Campa (2018) comparó el patentamiento en México durante el periodo en que se industrializó el país reduciendo importaciones y durante el régimen de apertura comercial. En ambas etapas hubo crecimiento elevado, tanto en la adopción como en la creación de tecnologías.

3. REVISION DE LA LITERATURA

En este apartado, se hizo una reflexión sobre como la innovación regional impulsa a la sostenibilidad. Las regiones que más innovaron mejoraron el crecimiento sostenible, mientras que las regiones que menos innovaron tuvieron más problemas para impulsar el crecimiento. Además, los procesos de innovación se observaron geográficamente muy concentrados, por lo que el crecimiento sostenible también resultó concentrado en algunas pocas regiones.

3.1. Innovación

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2005), se entiende por innovación la implementación de novedades o mejoras en productos, procesos, métodos organizacionales internos, disposición laboral o vínculos externos de una compañía. Sin embargo, no solo se trata de un proceso técnico, hay aspectos económicos y sociales, como el conocimiento y la educación, que son cruciales (Blacutt-Olmos, 2021).

La innovación se produce a partir de la necesidad de resolver problemas o facilitar procesos. En Díaz-Muñozy Guambi-Espinoza (2018) la necesidad de innovar debe dirigirse no solo al producto sino también a los elementos a través de los que la empresa lleva a cabo su proceso

productivo. Para Fernández (2015) y Kataishi y Brixner (2022) la innovación está condicionada a las fallas del mercado, lo que justifica la intervención pública.

La innovación es la base de la competencia entre empresas (Ahlstrom, 2015; Quevedo, 2019). La perspectiva neo-schumpeteriana otorga especial atención a la forma en la que se dan las dinámicas del cambio tecnológico, la capacidad de las empresas para innovar, la forma en la que el contexto influye en el comportamiento empresarial y al papel que juegan las instituciones.

Una forma de medir la innovación es mediante la proporción del PIB destinado a la investigación y desarrollo experimental durante un periodo determinado (gasto en **I+D**). En Ríos-Rodríguez (2022) las empresas que invierten en actividades de **I+D** se relacionan positivamente con las actividades innovadoras (Decyk, 2024), por lo que el gasto en **I+D** es una buena alternativa de medición. Molero y Lordén (2020) consideran que la relación entre **I+D**, innovación y resultados es no lineal, pues el gasto en **I+D** solo mide los esfuerzos realizados. Hay una clara necesidad de que los países emergentes (como México) promuevan la investigación para desarrollar patentes (Ahlstrom, 2015, Nuño-Velasco y Mejía-Trejo, 2022).

Los datos sobre patentes son populares como medidas de la generación de nuevas ideas. A pesar de que el su uso genera debate acerca de su efectividad como medida idónea de innovación, se considera que el conteo de patentes tiene cualidades que lo convierten en una buena alternativa de medición. Por ejemplo, constituye una manera directa de medir la invención, también ofrece información detallada de los inventos a diferencia de indicadores como el gasto en **I+D**.

Medir la innovación a través de patentes tiene algunas problemáticas, una de ellas es que no todas las invenciones se registran. Muchas empresas no se interesan por legalizar sus inventos, o simplemente no finalizan el proceso. Otra de las desventajas se halla en los cambios en las leyes de propiedad intelectual. Tampoco consideran las diferencias de calidad. Aun así, la solicitud de patentes proporciona información útil en el análisis de un conjunto de economías. La dificultad de encontrar alternativas hace que, a pesar de ser un simple conteo, el patentamiento sea considerado un indicador aceptable.

3.2. Crecimiento económico sostenible

La teoría del crecimiento endógeno hace énfasis en los factores inherentes al crecimiento económico. La nueva tecnología se crea en la investigación y desarrollo con capital humano, así

como los diversos conocimientos humanos (Peñaloza-Talavera y Martínez-Arroyo, 2020). En sí, la innovación tecnológica favorece el crecimiento económico, por lo tanto, aquellos sectores denominados por esta teoría como “sector de **I+D**” son clave para el cambio tecnológico y el crecimiento económico. Aunque también se ha debilitado la relación últimamente (Gordon, 2018), pero encuentra explicación parcial en los cambios de régimen que ha tenido el crecimiento (Bucci et al., 2021). Para alcanzar las metas de crecimiento sostenible el país debe crecer a tasas superiores al 7%, un camino para cumplir con esta meta es la modernización tecnológica y de innovación centrada en los sectores de alta tecnología, por su elevado potencial generador de valor agregado.

3.3. Relacionando la innovación con crecimiento económico sostenible

Cuando las economías promueven el registro de patentes alcanzan mayor crecimiento. Esto se demuestra en Campo-Robledo y Herrera-Saavedra (2016) donde las patentes constituyen un factor de crecimiento económico. En Chu et al. (2018) mayor protección a las patentes genera un despegue endógeno más rápido. En Germán-Soto, Soto y Gutiérrez (2021) la innovación tiene efectos positivos en el crecimiento económico. Germán-Soto, Soto y Gutiérrez (2023) encontraron un efecto positivo en patentes considerando el financiamiento a la innovación. Por tanto, el crecimiento sostenible está condicionado a la innovación. Así, una buena idea es analizar los factores que inciden en la innovación, ya que ésta permitirá alcanzar la meta de crecimiento sostenible que se propone en los objetivos de la **ONU**.

4. METODOLOGÍA

Este estudio se realizó en 2024 con modelos de conteo para entender la conducta de patentes y cómo fue el impacto de sus factores. El modelo contempló la importancia de las vecindades durante 1993-2020. De acuerdo con la revisión de la literatura, en los modelos que se describen en esta sección se busca captar el impacto de variables que promueven la innovación como la inversión extranjera, la educación y los sectores de alta tecnología, ya que, si logramos entender cómo mejorar las prácticas innovadoras, estaremos en condiciones de elevar el crecimiento y alcanzar las tasas sostenibles que requiere el país.

4.1. Modelos de Poisson y binomial-negativo

La distribución de probabilidad de Poisson se utilizó para estimar el número de eventos que ocurren de manera aleatoria en el tiempo y el espacio. Para que sea una distribución de Poisson, la variable debe presentar ciertas propiedades, entre las que se encuentran la probabilidad de que el evento ocurra sea la misma en los intervalos de igual longitud. La función de probabilidad de Poisson tiene la siguiente forma (Greene, 2008):

$$P(Y = y_i / \mathbf{x}_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!}, \text{ para toda } y_i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad \text{ec...}(1)$$

donde y_i representa una variable aleatoria discreta que indica el número de eventos durante cierto intervalo y \mathbf{x} es vector de variables explicativas. Dado que no se definió un límite superior, esta función es aplicable para $y_i = \{0, 1, 2, \dots\}$. El parámetro λ se define a partir de una transformación log-lineal:

$$\ln \lambda_i = \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta} \quad \text{ec...}(2)$$

Es importante destacar que la distribución de Poisson presenta “*equidispersión*”, es decir, considera que media y varianza son iguales (Greene, 2008). Si no se cumple este supuesto, entonces el modelo binomial-negativo es de mayor utilidad.

A diferencia del modelo de Poisson, la relación entre el valor medio y la varianza se establece como $Var(y) > E(Y)$. A su vez, en el modelo binomial-negativo se puede personalizar el tamaño de la varianza mediante métodos quasi-verosimilitud (**QML**). En modelos **QML** la variable dependiente está en función de un parámetro desconocido denominado θ que toma valores mayores a cero (Greene, 2008).

En sí, al usar **QML** se espera que los estimadores elegidos sean los que tienen mayor probabilidad de ser compatibles o cercanos respecto a los datos observados. **QML** tiene como principales ventajas que personaliza el supuesto sobre la varianza para obtener parámetros de mayor precisión y confiabilidad, aunque no siempre resulta así porque también influyen las características de distribución de los datos (Greene, 2008).

4.2. Regresiones con dependencia espacial

Para investigar la hipótesis de que las vecindades propician la generación de innovación, se siguieron técnicas de econometría espacial. Primero, se exploró el grado de autocorrelación espacial con la prueba I de Moran. Para confirmar los resultados desde la perspectiva exploratoria, se estimaron los modelos de regresión espacial sustantiva y residual. La primera se definió como:

$$y = \rho W y + X \beta + u \quad \text{con } u \sim N(0, \sigma^2 I) \quad \text{ec...}(3)$$

donde y representa un vector ($N \times 1$), $W y$ es el retardo espacial (vecindad) de la variable y , X representa una matriz de k variables exógenas, u es el término de error, n el número de observaciones y el parámetro ρ recoge las interdependencias espaciales.

La autocorrelación espacial residual aparece cuando se excluye del modelo una variable que, si bien no es crucial, se encuentra correlacionada espacialmente con alguna de las que se incluyen en el modelo, o puede deberse a errores de medición. De acuerdo con Tchuinkam y Hinaunye (2024), se expresa como sigue:

$$y = X \beta + \varepsilon \quad \text{con } \varepsilon = \lambda W \varepsilon + u \quad \text{y } u \sim N(0, \sigma^2 I) \quad \text{ec...}(4)$$

donde u es el término ruido blanco y λ es el parámetro que recoge las interdependencias.

4.3. Estrategia de estimación empírica

Después de linealizar y agregar las variables de interés, la ecuación de estimación empírica es:

$$PAT_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 PIB_{i,t} + \beta_2 EDU_{i,t} + \beta_3 IED_{i,t} + \beta_4 SAT_{i,t} + \alpha DUM2008_t + u_{i,t} \quad \text{ec...}(5)$$

donde $PAT_{i,t}$ representa el número de patentes de la entidad i -ésima en el año t , PIB es el ingreso per cápita, EDU mide los años de escolaridad promedio, IED indica la inversión extranjera directa, SAT es el valor agregado en los sectores de alta tecnología, y u es el término de perturbación. Además, $i=1, \dots, 32$ representa las entidades federativas y $t=1993, 1994, \dots, 2020$.

La ec. (5) incluye una variable dummy para observar el efecto de la crisis de 2008, toma el valor de 1 a partir de 2008 y ceros en los demás años. Añadir variables dummy ofrece ciertas ventajas, además de evaluar los efectos de la crisis, pues ayuda a reducir los problemas de sobredispersión. Como estrategia de análisis se amplió la ecuación (5) para captar los efectos desde el nivel de ingreso de las economías (alto, medio y bajo):

$$PAT_{i,t} = \beta_0 + \delta_{k1} \sum_{k1=1}^3 PIB_{k,it} + \delta_{k2} \sum_{k2=1}^3 EDU_{k,it} + \delta_{k3} \sum_{k3=1}^3 EDU_{k3,it}^2 + \delta_{k4} \sum_{k4=1}^3 IED_{k4,it} + \delta_{k5} \sum_{k5=1}^3 SAT_{k5,it} + \alpha DUM2008_t + u_{i,t} \quad ec...(6)$$

donde los *ki* parámetros δ contienen las tres categorías de ingreso y EDU_{it}^2 representa la no linealidad de la educación, una relación surgida al momento de separar por regiones. La **Figura 1** muestra la clasificación regional según el criterio de ingresos.

Figura 1. Clasificación regional de México, según el criterio de ingresos.



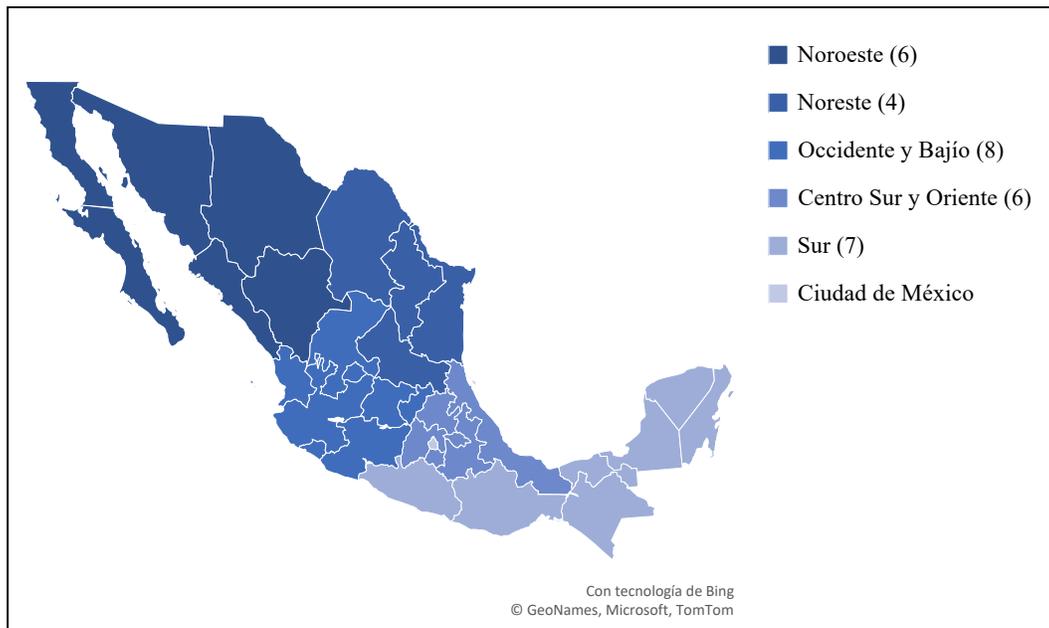
Fuente: elaboración propia con la herramienta Excel de Microsoft.

También se planteó la hipótesis de que la innovación adquiere connotaciones geográficas. Para ello se considera un modelo empírico con dummies de región geográfica (INEGI, 2024):

$$PAT_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 PIB_{i,t} + \beta_2 EDU_{i,t} + \beta_3 EDU_{i,t}^2 + \beta_4 IED_{i,t} + \beta_5 SAT_{i,t} + \delta_k \sum_{k=1}^5 GEO_{k,it} + \alpha DUM2008_t + u_{i,t} \quad ec...(7)$$

donde las variables son como se etiquetaron previamente. Además, la sumatoria de k parámetros δ contiene las cinco regiones geográficas (**GEO**), al dejar a la Ciudad de México como la categoría base. La **Figura 2** muestra las regiones desde el criterio geográfico definido por INEGI (2024).

Figura 2. Mapa de la división política de México y sus regiones geográficas.



Fuente: elaboración propia con base en clasificación de INEGI (2024) y la herramienta Excel de Microsoft.

4.4. Datos, variables y análisis exploratorio

Los datos cubrieron los 32 estados del país durante 1993-2020. La variable dependiente fue el número de patentes, mientras que las explicativas fueron producción per cápita, educación, **IED** y el valor agregado de los sectores de alta tecnología (en logaritmos). La información de patentes es del Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (**IMPI**), la producción per cápita se construyó con datos de **PIB** estatal de **INEGI** y **Conapo** (Consejo Nacional de Población), la **IED** es medida en millones de dólares (Secretaría de Economía), como educación se usó la escolaridad promedio y como sectores de alta tecnología a la razón de valor agregado a producto total estatal.

De acuerdo con los enfoques teóricos revisados, los ingresos son fundamentales para impulsar la innovación, por lo que se relacionan positivamente. La evidencia mostró también una relación positiva entre innovación e inversión extranjera, ya que se hallan condicionadas, principalmente en

países en desarrollo. La educación es base para impulsar la innovación. Dentro de la teoría del crecimiento endógeno, los sectores de alta tecnología son clave para el cambio tecnológico y elevar el crecimiento económico.

Un resumen de estadística descriptiva es mostrado en la **Tabla 1**. Mientras que los rangos de variación de las variables aluden heterogeneidad, el coeficiente de variación identifica al patentamiento como de mayor dispersión y la educación sobresale por su menor varianza. Esta descripción se confirma desde la óptica de la curtosis y la desviación estándar.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas básicas.

Rubro	Patentes	PIBEpc	Educación	IED	SAT
Media	25.35	149,558.90	8.19	737.23	0.06
Máximo	427.00	1,438,039.00	11.48	10,219.45	0.35
Mínimo	0.00	45,692.77	4.56	0.10	0.00
Desviación estándar	50.33	175,634.30	1.27	1,202.32	0.07
Curtosis	23.60	33.42	2.51	18.41	5.36
Coefficiente de variación	1.99	1.17	0.16	1.63	1.11

Notas: **PIBEpc** = ingresos, **IED** = inversión extranjera directa, **SAT** = sectores de alta tecnología.

Fuente: elaboración propia con el programa Eviews 11.0.

En la **Tabla 2** se presenta el valor del coeficiente de variación de las variables por estado. Los estados de mayor ingreso mostraron menor dispersión. En cuanto a los estados de menor ingreso, al igual que los de ingreso elevado, presentaron un coeficiente de variación cercano a cero en el indicador de ingresos. Además, en los estados de ingreso medio y bajo resultó mayor el coeficiente de variación de la **IED**.¹

Tabla 2. Coeficiente de variación del conjunto de variables por entidad federativa.

Estados	Patentes	PIBEpc	Educación	IED	SAT
Aguascalientes	0.6748	0.1705	0.1156	1.0044	0.2755
Baja California	0.7472	0.0767	0.0878	0.3818	0.3463
Baja California Sur	0.9011	0.0909	0.0900	0.6884	0.5010
Campeche	1.2830	0.2937	0.1315	1.0579	0.3002
Coahuila	0.7773	0.1066	0.0926	0.8757	0.2208
Colima	1.0051	0.0533	0.1161	0.7770	0.2150
Chiapas	1.2817	0.0837	0.1551	0.7775	0.6502
Chihuahua	0.7547	0.1274	0.1037	0.5182	0.1221

¹ De acuerdo con la clasificación regional basada en ingresos de la **Figura 1**.

Ciudad de México	0.3192	0.1653	0.0731	0.3177	0.6707
Durango	0.9668	0.0926	0.1189	0.7861	0.2380
Guanajuato	0.7505	0.1498	0.1466	0.8802	0.3505
Guerrero	0.8560	0.0434	0.1281	1.0342	0.3627
Hidalgo	1.1222	0.0764	0.1464	0.8989	0.2476
Jalisco	0.7248	0.0835	0.1132	0.6398	0.5174
México	0.3458	0.0684	0.0902	0.5566	0.2616
Michoacán	0.6213	0.1090	0.1261	1.6453	0.3321
Morelos	0.5289	0.0615	0.0992	0.7251	0.2403
Nayarit	1.0125	0.0713	0.1247	1.1224	0.2194
Nuevo León	0.4597	0.1442	0.0798	0.5570	0.1603
Oaxaca	0.9104	0.0472	0.1502	1.6308	0.3177
Puebla	0.8331	0.1218	0.1246	0.7507	0.1695
Querétaro	0.5438	0.1313	0.1346	0.6472	0.1818
Quintana Roo	1.0571	0.0646	0.1187	0.7712	0.2306
San Luis Potosí	0.7001	0.1512	0.1317	0.9877	0.2327
Sinaloa	1.0034	0.0771	0.1227	0.8490	0.3477
Sonora	0.9064	0.0777	0.0992	0.7933	0.4066
Tabasco	0.9015	0.0790	0.1364	0.9376	0.4336
Tamaulipas	0.8191	0.0867	0.0961	0.4795	0.2327
Tlaxcala	0.9587	0.0758	0.1064	0.8054	0.3392
Veracruz	0.7405	0.0507	0.1228	0.7513	0.2656
Yucatán	0.7782	0.1158	0.1374	0.7801	0.1840
Zacatecas	0.9062	0.1843	0.1501	1.8169	0.6340

Fuente: elaboración propia, con el programa Eviews 11.0.

Para analizar el objetivo número 9 de Naciones Unidas en el que se encuentra la innovación, se dispone de 896 observaciones de registros de patentes (32 estados por 28 años). La Ciudad de México registró el valor máximo de todos los periodos, con 427 solicitudes. También se contabilizaron 65 casos en los que no hubo registro de patentes, mientras que el rango de 11 a 20 contiene la mayoría de las solicitudes de patentes, con 121 casos (ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Distribución de frecuencias de la solicitud de patentes.

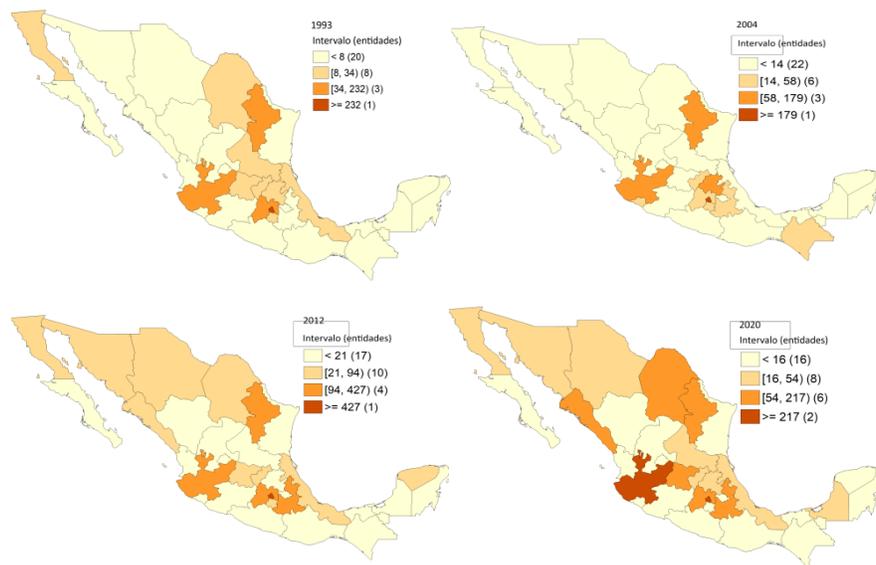
Patentes	Conteo
0	65
1	81
2	67
3	64
4	55
5	42
6	28

7	38
8	31
9	23
10	27
11 a 20	121
21 a 30	71
31 a 40	31
41 a 50	32
51 a 100	75
más de 100	45
Observaciones: 896	
Máximo	427
Media	25.3538
Varianza	2530.7108
Coefficiente de variación	1.9842

Fuente: elaboración propia, con el programa Eviews 11.0.

Geográficamente, las patentes tendieron a concentrarse en el Centro y Norte del país (**Figura 3**). En los cuatro momentos graficados, a manera de ilustración, sobresalen la Ciudad de México, Jalisco, Nuevo León, Estado de México, Guanajuato y Puebla, por su mayor patentamiento. Probablemente también son las entidades con mayor nivel de innovación. En la parte inferior, destacan estados como Guerrero, Hidalgo y Morelos con los menores registros. En general, en los estados del sur se observó menor densidad de patentamiento. Mientras que al final del periodo destacaron Coahuila, Sinaloa y Sonora porque elevaron sustancialmente el número de patentes que venían registrando.

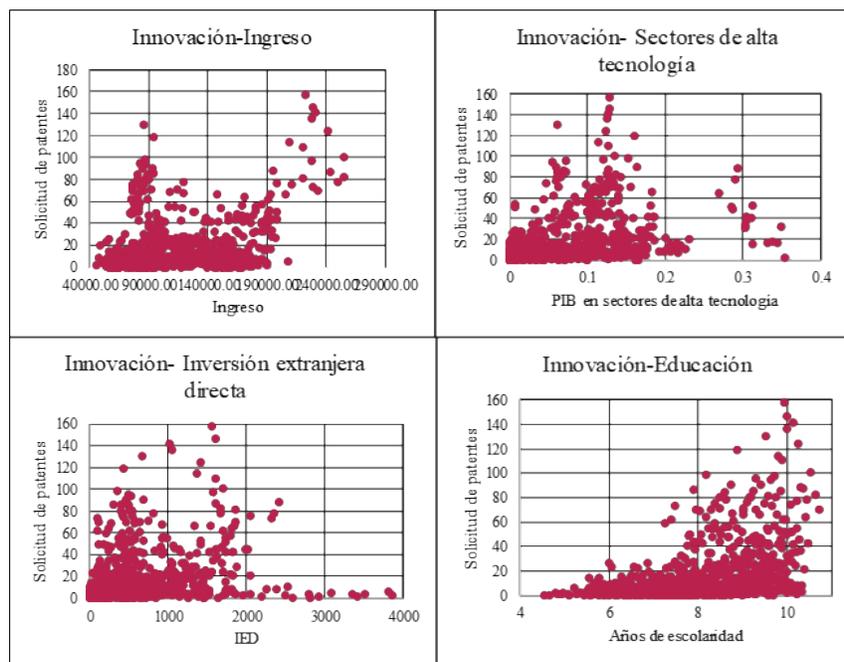
Figura 3. Distribución geográfica de las solicitudes de patentes (1993, 2004, 2012 y 2020).



Fuente: elaboración propia con el software GeoDa versión 1.22.0.2.

Hay patrones específicos de relaciones positivas que en algunos casos puede ser no lineal (ver **Figura 4**). El ejemplo más claro de no linealidad parece darse con educación.

Figura 4. Patrones de relación de la innovación con sus factores determinantes.



Fuente: elaboración propia, con el programa Eviews 11.0.

5. RESULTADOS

Los resultados se presentaron primero sobre los modelos de conteo, tanto para la muestra absoluta como para las muestras por región de ingresos y geográfica. Después se hallan los resultados con dependencia espacial.

5.1. Resultados con modelos de conteo

La **Tabla 4** reporta los resultados desde Poisson, binomial-negativo y **QML**. Los coeficientes estimados son altamente significativos y las tres técnicas estimaron magnitudes similares de los factores determinantes, sin embargo, de acuerdo con los contrastes de sobredispersión y el criterio de información de Schwarz, el binomial-negativo presenta mejor ajuste.

Ingresos per cápita, educación, inversión extranjera y los sectores de alta tecnología son factores que influyeron en la dirección esperada. Sin embargo, el factor que destacó fue la educación, pues su semi-elasticidad es la más alta. Ante el aumento del 1% en el desempeño educativo, en promedio, las regiones mexicanas tienden a crear cerca de 1.6 patentes.² Los otros factores estimaron contribuciones por debajo de una patente, en promedio. Los ingresos contribuyeron con 0.38 patentes, mientras que las inversiones foráneas y el valor agregado de los sectores de alta tecnología rondaron valores de alrededor de la cuarta parte de una solicitud de patente. La dummy de la crisis financiera de 2008 presentó un coeficiente positivo y significativo, sugiriendo que la tendencia a innovar no fue afectada por la crisis global.

Tabla 4. Resultados de regresión entre innovación y determinantes, muestra global (variable dependiente: número de patentes).

Rubros	Poisson	Binomial Negativo	Binomial Negativo QML (parámetro 0.3)
Constante	-8.997*** (0.188)	-5.580*** (0.808)	-5.932*** (0.511)
Ingresos	0.287*** (0.022)	0.381*** (0.099)	0.376*** (0.061)
Educación	2.243*** (0.111)	1.590*** (0.431)	1.601*** (0.278)

² En la interpretación, basamos el análisis en el valor medio estimado, no en los efectos marginales.

Inversión extranjera directa	0.631*** (0.008)	0.255*** (0.022)	0.306*** (0.016)
Sectores de alta tecnología	0.047*** (0.005)	0.287*** (0.024)	0.262*** (0.015)
Dummy de 2008	0.097*** (0.018)	0.319*** (0.098)	0.279*** (0.059)
Rubros	Ajuste y contrastes de sobredispersión		
R ² ajustado	0.67	0.29	0.34
Criterio de Schwarz	21.35	7.41	8.04
Log-verosimilitud	-9,547.43	-3,296.37	-3,597.49
Ratio de verosimilitud	30,599.97	43,102.09	4,887.23
Hannan-Quinn	21.337	7.388	8.056

Notas: Errores estándar entre paréntesis. Los superíndices *** indican que la variable es significativa al 1%.
Fuente: elaboración propia con el programa Eviews 11.0.

Desde la perspectiva regional, el comportamiento no-lineal de la educación fue mucho más claro, justificando la inclusión del término cuadrático (ver **Tabla 5**). Nótese que en la misma regresión se consideraron los factores determinantes de las tres regiones clasificadas en función de los ingresos, ya que interesa no solo captar los efectos regionales sino también realizar comparaciones interregionales válidas. De nuevo, el modelo de mejor ajuste fue el binomial-negativo. Recordemos que la educación no causa innovación directamente (Zhou y Luo, 2018).

Tabla 5. La innovación y sus determinantes, efectos por región de ingresos (variable dependiente: número de patentes).

Rubros	Poisson	Binomial Negativo	Binomial Negativo QML (parámetro 0.1)
Constante	1.065*** (0.078)	1.079*** (0.130)	1.083*** (0.089)
A_Ingresos	0.024 (0.070)	0.914*** (0.353)	0.722*** (0.164)
M_Ingresos	-0.413*** (0.153)	0.11 (0.449)	-0.149 (0.239)
B_Ingresos	0.401*** (0.049)	0.216*** (0.104)	0.269*** (0.063)
A_Educación	-2.758*** (0.587)	-10.901*** (3.119)	-9.264*** (1.427)
A_Educación ²	0.803*** (0.108)	2.246*** (0.618)	1.960*** (0.276)

M_Educación	4.417*** (1.511)	-0.824 (4.568)	1.775 (2.396)
M_Educación ²	-0.739*** (0.324)	0.423 (1.015)	-0.152 (0.522)
B_Educación	-4.581*** (0.502)	-1.586* (0.941)	-2.593*** (0.606)
B_Educación ²	1.398 (0.127)	0.635** (0.253)	0.913*** (0.159)
A_Inversión extranjera directa	0.524*** (0.014)	0.481*** (0.066)	0.500*** (0.032)
M_Inversión extranjera directa	0.093*** (0.016)	0.069* (0.039)	0.078*** (0.022)
B_Inversión extranjera directa	0.340*** (0.014)	0.164*** (0.031)	0.223*** (0.020)
A_Sectores de alta tecnología	-0.347*** (0.012)	-0.436*** (0.074)	-0.433*** (0.033)
M_Sectores de alta tecnología	0.228*** (0.018)	0.254*** (0.049)	0.241*** (0.026)
B_Sectores de alta tecnología	0.435*** (0.014)	0.414*** (0.032)	0.413*** (0.018)
A_Dummy de 2008	0.300*** (0.030)	0.690*** (0.182)	0.633*** (0.083)
M_Dummy de 2008	0.809*** (0.059)	0.830*** (0.161)	0.820*** (0.087)
B_Dummy de 2008	0.362*** (0.040)	0.560*** (0.143)	0.445*** (0.073)
Rubros	Ajuste y contrastes de sobredispersión		
R ² ajustado	0.76	0.26	0.37
Criterio de Schwarz	14.797	7.105	8.321
Log-verosimilitud	-65,564.40	-3,114.93	-3,663.09
Ratio de verosimilitud	36,566.01	43,464.96	31,890.55
Hannan-Quinn	14.734	7.039	8.258

Notas: Errores estándar entre paréntesis. Los prefijos **A**, **M** y **B** indican alto, medio, y bajo, respectivamente. Los superíndices ***, ** y * indican que la variable es significativa al 1%, 5% y 10% respectivamente.

Fuente: elaboración propia, con el programa Eviews 11.0.

El capital foráneo impulsó la actividad innovadora, con un impacto particularmente notable en las zonas más prósperas; sin embargo, contrario a lo esperado, en estas mismas áreas de altos ingresos, los sectores tecnológicamente avanzados mostraron una influencia adversa en la

innovación. Este resultado refleja el elevado nivel, comparativamente, de la Ciudad de México, ya que no fue el caso de las otras regiones. Finalmente, la crisis internacional no fue factor de impacto en la creación de patentes, como sí lo fue en países europeos (Friz y Günther, 2021).

En el análisis de regiones geográficas de INEGI (2024) se excluyó una de las categorías (ver **Figura 2**). Así, los coeficientes estimados de las dummies de región recogen las diferencias de innovación explicadas por la ubicación geográfica en relación con el desempeño de la Ciudad de México (ver **Tabla 6**). Se espera que las regiones restantes estimen efectos diferenciales negativos.

De nuevo, el modelo de mejor ajuste de acuerdo con los contrastes de sobredispersión es el binomial-negativo. Los ingresos ejercen un efecto positivo sobre la innovación que se cuantifica en alrededor de una quinta parte de patente creada por cada 1% de incremento del ingreso promedio. Un efecto de magnitud similar se obtiene ante cambios en la inversión extranjera directa.

La educación sigue estimando un efecto no-lineal, pero ahora se estima en casi 6 patentes creadas por cada 1% de mejoras en la escolaridad promedio de los estados, lo que es interesante porque mejorar la educación es una de las políticas públicas más asertivas para incidir en la innovación y el desempeño económico.

Tabla 6. La innovación y sus determinantes, efectos por región geográfica (variable dependiente: número de patentes).

Rubros	Poisson	Binomial Negativo	Binomial Negativo QML (parámetro 0.1)
Constante	12.224*** (1.487)	23.007*** (4.555)	24.061*** (2.550)
Ingresos	0.417*** (0.031)	0.198** (0.087)	0.283*** (0.049)
Educación	-14.771*** (1.346)	-22.280*** (4.486)	-24.502*** (2.466)
Educación ²	3.756*** (0.317)	5.805*** (1.103)	6.252*** (0.598)
Inversión extranjera directa	0.343*** (0.008)	0.190*** (0.022)	0.253*** (0.013)
Sectores de alta tecnología	0.269***	0.351***	0.323***

	(0.009)	(0.028)	(0.014)
Dummy de 2008	0.381***	0.380***	0.348***
	(0.022)	(0.094)	(0.045)
Región noroeste	-1.983***	-2.240***	-2.108***
	(0.039)	(0.196)	(0.086)
Región noreste	-1.559***	-1.984***	-1.798***
	(0.035)	(0.197)	(0.086)
Región occidente y bajo	-1.090***	-1.512***	-1.288***
	(0.037)	(0.204)	(0.091)
Región centro sur y oriente	-0.823***	-1.328***	-1.081***
	(0.042)	(0.213)	(0.096)
Región sur	-1.284***	-1.508***	-1.344***
	(0.050)	(0.223)	(0.102)
Rubros	Ajuste y contrastes de sobredispersión		
R ² ajustado	0.79	0.77	0.77
Criterio de Schwarz	15.069	7.115	8.505
Log-verosimilitud	-6,710.16	-3,143.49	-3,769.38
Ratio de verosimilitud	36,274.49	43,407.85	31,677.97
Hannan-Quinn	15.029	7.072	8.465

Notas: errores estándar entre paréntesis. En las dummy de región la categoría base es la Ciudad de México. Los superíndices *** y ** indican que la variable es significativa al 1% y 5%, respectivamente. Fuente: elaboración propia, con el programa Eviews 11.0.

5.2. ¿Qué tan importantes son las externalidades espaciales para innovar y generar crecimiento sustentable?

Se exploró la presencia de externalidades regionales en la actividad innovadora y qué tan fuertes son sus efectos. De ser relevantes, los estados geográficamente vecinos serán impactados por los efectos derrame generados desde un estado innovador. El análisis se basa en matrices de contigüidad física de primer orden para captar los efectos vecinales.

Se calculó la **I** de Moran para ocho años del periodo (ver **Tabla 7**). En cuanto a la solicitud de patentes, solo los años iniciales promediaron significancia estadística. En ingresos, a excepción de 2004 y 2020, existe evidencia para sugerir la presencia de autocorrelación positiva. La educación y los sectores de alta tecnología promedian un índice positivo y significativo en los ocho años analizados, lo que implica concentración espacial. La **IED** solo presentó significancia en el año inicial, por lo que la autocorrelación espacial es positiva pero débil.

Tabla 7. Autocorrelación espacial global (I de Moran), algunos años.

Año	Patentes	Ingresos	Educación	Inversión extranjera directa	Sectores de alta tecnología
1993	0.122**	0.061**	0.419***	0.024*	0.240**
1996	0.074*	0.051**	0.399***	0.020*	0.194**
2000	0.162**	0.033*	0.352***	0.044	0.189**
2004	0.009	0.011	0.354***	0.186**	0.147*
2008	0.06	0.051*	0.359***	0.069	0.195**
2012	0.065	0.081*	0.340***	-0.073	0.185**
2016	0.05	0.087*	0.348***	0.049	0.221**
2020	-0.063	0.063	0.347***	0.062	0.234**

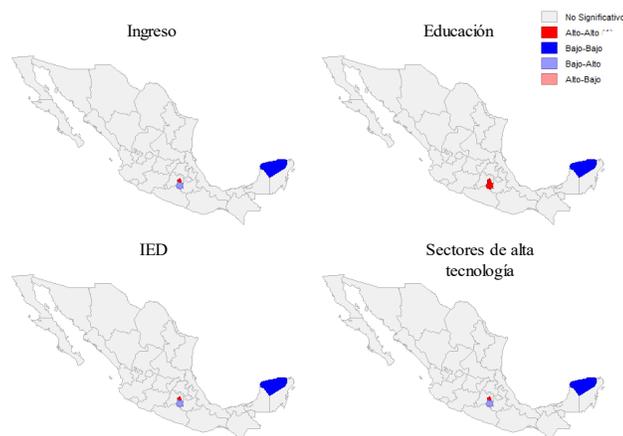
Notas: Los superíndices ***, ** y * indican que la variable es significativa al 1%, 5% y 10%, respectivamente.

Fuente: elaboración propia, desde GeoDa versión 1.22.0.2 de 2023.

Los mapas de clúster permitieron identificar concentraciones en áreas geográficas locales. La **Figura 5** no detectó patrones locales significativos. Al menos en 1993 hay algún clúster alrededor de la Ciudad de México, definido como alto-alto. En las variables ingresos, **IED** y sectores de alta tecnología se localizó un clúster bajo-alto (en Morelos), lo cual tiene sentido al localizarse junto a la entidad de mejor desempeño, la Ciudad de México.

La educación, por otro lado, mostró un clúster alto-alto en la Ciudad de México y Morelos. En todas las variables se observa el clúster bajo-bajo en Yucatán, esto tiene sentido debido a que dichas zonas no tienen como actividad principal a la industria.

Figura 5. Distribución espacial del contraste I de Moran bivalente local, 1993.



Fuente: elaboración propia desde el software GeoDa, versión 1.22.0.2 de 2023.

En la **Tabla 8** se presentan las regresiones por **MCO** y los diagnósticos correspondientes. Los coeficientes tienen el signo esperado, sin embargo, no resultaron ser significativas, excepto la **IED** y los sectores de alta tecnología. Hay multicolinealidad elevada, con excepción de las regresiones de los años 2000 y 2020.

En las estimaciones no se incluyó la educación ya que presentó fuerte multicolinealidad. Las pruebas **I** de Moran y **LM** robusto del error espacial resultaron significativas para 1993, 1996, 2000 y 2016. Por otro lado, la prueba **SARMA** solo resultó significativa en 2016.

Tabla 8. Regresión MCO y diagnósticos de dependencia espacial (variable dependiente: número de patentes).

Rubros	1993	1996	2000	2008	2012	2016	2020
Constante	-97.66 (125.39)	-156.49 (90.58)	-39.43** (18.77)	-265.17** (124.42)	-577.29 ** (285.43)	-396.51 * (216.04)	-88.74 ** (37.46)
Ingresos	7.22 (10.89)	12.83 (7.76)		13.23 (10.83)	37.64 (24.51)	29.99 (18.55)	
Inversión extranjera directa	10.45*** (2.89)	6.21 (1.82)	5.10* (2.92)	21.25*** (5.41)	28.85 ** (13.05)	13.92 *** (4.98)	9.73 * (4.99)
Sectores de alta tecnología			3.18 (2.57)				7.34 * (3.74)
R ² ajustado	0.29	0.27	0.21	0.37	0.18	0.25	0.24
Criterio de Akaike	321.51	300.34	305.41	317.56	366.81	345.80	340.10
Diagnóstico de multicolinealidad y normalidad							
Condición de multicolinealidad	47.31	47.13	9.90	52.08	54.92	57.89	9.51
Prueba Jarque-Bera	256.92***	231.97***	315.32***	69.78***	282.09 ***	86.03 ***	8.86 ***
Diagnóstico de heteroscedasticidad							
Prueba Breusch-Pagan	115.57***	101.25***	67.36***	51.03***	37.55 ***	36.32 ***	31.06 ***
Prueba Koenker-Bassett	16.07***	14.74***	8.52***	12.51***	4.99 *	8.49 ***	8.86 ***
Diagnóstico de dependencia espacial							
I de Moran (error)	1.727*	1.711*	1.642*	1.538	1.44	2.31 **	-0.10
Multiplicador de Lagrange (retardo)	0.705	0.242	1.689	0.266	0.66	1.23	0.23

LM robusto (retardo)	0.347	2.667	0.258	0.755	0.44	4.94 **	0.09
Multiplificador de Lagrange (error)	1.341	1.319	1.436	1.043	1.06	3.29 *	0.16
LM robusto (error)	0.983	3.745**	0.005	1.533	0.84	6.99 ***	0.01
Multiplificador de Lagrange (SARMA)	1.688	3.986	1.694	1.798	1.51	8.23 **	0.24

Notas: errores estándar entre paréntesis. Los superíndices ***, ** y * indican que la variable es significativa al 1%, 5% y 10%, respectivamente.

Fuente: elaboración propia con GeoDa, versión 1.22.0.2 de 2023.

La **Tabla 9** presenta los resultados de estimación con el modelo de error espacial. Los coeficientes estimados del ingreso mostraron influencia positiva en la innovación, de manera que para 1996, 2012 y 2016, ante un aumento del 1% en el ingreso per cápita, se generaron 18, 54 y 45 patentes, respectivamente, lo que confirma su importancia en la generación de patentes.

La **IED** es de gran influencia en la innovación regional, al igual que el ingreso, aspecto que coincide con los resultados encontrados en los modelos previos que no incluyeron dependencia espacial. Destaca la influencia de la **IED** en la innovación, especialmente en 2008 y 2012, pues la cantidad de patentes generadas resulta mayor a 20. Los sectores de alta tecnología solo se incluyeron en las regresiones de los años 2000 y 2020, ya que al igual que la educación generó problemas de colinealidad fuerte.

Tabla 9. Estimaciones de regresión del modelo de error espacial (variable dependiente: número de patentes).

Rubros	1993	1996	2000	2008	2012	2016	2020
Constante	-107.44 (123.38)	- 221.9*** (87.28)	-35.68** (18.71)	-311.6*** (120.58)	-744.90*** (275.41)	582.27*** (198.77)	-86.48*** (35.10)
Ingresos	8.075 (10.77)	18.39*** (7.44)		17.14 (10.57)	53.68** (23.50)	45.04*** (17.00)	
Inversión extranjera directa	10.98 *** (2.94)	6.91 *** (1.86)	5.42 ** (2.64)	21.59*** (5.25)	26.06** (11.61)	15.71*** (4.26)	9.58** (4.77)
Sectores de alta tecnología			2.64				7.21**

			(2.52)				(3.48)
λ	0.343 *	0.377 ***	0.338 *	0.299	0.342 *	0.504***	-0.08
	(0.19)	(0.19)	(0.20)	(0.20)	(0.20)	(0.16)	(0.24)
R ²	0.39	0.38	0.33	0.45	0.29	0.44	0.29
Criterio de Akaike	319.69	298.27	303.57	136.17	369.52	345.53	344.35
Diagnóstico de heteroscedasticidad							
Prueba Breusch-Pagan	110.36***	88.09***	64.29***	44.93***	39.16***	26.59***	31.61***
Diagnóstico de dependencia espacial							
Ratio de verosimilitud	1.81	2.08	1.84	1.40	1.69	4.66	0.14

Notas: errores estándar entre paréntesis. Los superíndices ***, ** y * indican que la variable es significativa al 1%, 5% y 10%, respectivamente.

Fuente: elaboración propia con el software GeoDa, versión 1.22.0.2 de 2023.

6. DISCUSIÓN

La innovación de un país depende, fundamentalmente, de la llegada de inversiones extranjeras, porque traen consigo nuevas tecnologías, lo que lleva, a su vez, a mejorar el crecimiento a tasas sostenibles (objetivo 8 de las ODS). Además, una sociedad con elevados estándares educativos impulsa las condiciones que aceleran la innovación. Desde luego, economías con mayores ingresos tienden a invertir más y mejorar su tecnología. Una economía con tecnología de vanguardia eleva, igualmente, su capacidad innovadora registrando más patentes, por lo que los sectores de alta tecnología son cruciales. Por tanto, para promover el crecimiento económico, inclusivo y sostenible que sugieren las Naciones Unidas, la actividad económica debe incorporar la innovación en sus procesos, por lo que las estrategias para impulsarla se convierten en punto neurálgico para el cumplimiento de este compromiso. El análisis de este trabajo cubre al menos dos objetivos de desarrollo sustentable de las Naciones Unidas, ya que se demuestra que el crecimiento económico (**ODS 8**) no será posible sin impulsar la innovación (**ODS 9**).

Aunque la evidencia la apoyamos con datos que llegan a 2020, de manera prospectiva los resultados no serán muy diferentes después de ese año, ya que la técnica estima la tendencia y cuatro años más no modifican de forma importante la ruta de largo plazo. De cualquier manera, en estos últimos cuatro años sucedieron eventos de consideración, como la pandemia de COVID-19 y los conflictos armados en Ucrania y Medio Oriente, que ralentizan el crecimiento y las

mejoras de innovación, pero estos eventos tuvieron carácter coyuntural, una vez que terminó la etapa neurálgica de la pandemia, se ha visto que el desempeño está regresando a niveles normales, por lo que no tendrán efectos de largo plazo. La guerra en Ucrania registró sus efectos adversos en el primer año del conflicto, pero poco a poco se han desvanecido, por lo que se espera que, aunque se prolongue la guerra, los efectos mundiales perderán relevancia.

Es evidente lo anunciado desde la teoría, los procesos de innovación se dan en espacios concentrados, de otra forma es complicado innovar. En México, los estados del centro, en particular la Ciudad de México, son más innovadores porque observan mayor aglomeración de actividades económicas, por tanto, logran mayor crecimiento e ingreso. El reto de las Naciones Unidas de elevar el crecimiento para reducir la pobreza es mayúsculo. Este estudio demuestra que los fundamentales (teoría clásica) no son suficientes (inversión, educación), se debe innovar más (teoría del crecimiento endógeno). La revisión de literatura enfatiza que los países (y las regiones) más innovadores tienen mejor nivel de ingresos y bienestar.

La capacidad de innovar para el desarrollo sostenible está estrechamente vinculada al contexto, ya que este proporciona y alimenta el repertorio de conocimientos específicos que, acumulándose mediante el aprendizaje, hacen posible la innovación, y de la forma en la que se aproveche el conocimiento disponible depende su desempeño en el ámbito innovador (Kataishi y Brixner, 2022, Olivas-Castellanos y De Gunther-Delgado, 2022), así como de la localización regional de la innovación (Bruna y Fernández-Sastre, 2021). Además, el cambio tecnológico no juega un papel central dentro de la teoría neoclásica, contrario a la teoría neo-schumpeteriana, que se enfoca en los aspectos que fomentan la innovación (Kataishi y Brixner, 2022; Fernández, 2015).

6.1. Implicaciones teóricas (*Scientia*)

Se confirma la teoría de que la innovación toma lugar en espacios dinámicamente diversos y geográficamente concentrados, lo que podría detonar el desarrollo de algunas regiones, pero otras se atrasarían, principalmente porque el desarrollo sostenible no se vería favorecido por la innovación tecnológica. Para cumplir con los objetivos de la ONU, la innovación se debe replantear para que las regiones de mayor atraso eleven el uso de tecnologías modernas en sus procesos de producción, esto elevará el crecimiento. En las estimaciones por región de ingresos

de la **Tabla 5**, hay una especie de jerarquización de los efectos en función del tamaño de los ingresos. Los estados de la región de alto ingreso obtuvieron los mayores efectos, principalmente en ingresos y educación. Para estas dos variables, la región de ingresos bajos supera a la de ingresos medios. Este resultado, tiene implicaciones con la hipótesis de que los rendimientos de los factores productivos son mayores en los niveles iniciales bajos que en los elevados.

Las tres regiones mostraron relaciones no lineales desde la educación, de tal forma que las mejoras educativas de la población primero redujeron la innovación, pero luego la elevaron, generando una forma de U-directa. La educación, de nuevo, imprimió mayores efectos que el resto de los factores. Además, la región de ingreso alto tiene mejor desempeño con respecto a las otras dos regiones. Nótese que en la región de ingresos medios fueron no significativos los impactos desde la educación. El problema es que las regiones de menor crecimiento también observan menores niveles de educación y menor actividad innovadora, por lo que el impulso de estas variables es clave para lograr un crecimiento sostenido.

En los modelos de dependencia espacial, la pérdida de significancia observada en el parámetro espacial en los años 2008 y 2020 podría indicar que la relación estatal en innovación, al menos durante esos años, es débil, lo que resulta en un impacto muy bajo y no significancia del parámetro λ .

6.2. Implicaciones prácticas (*Praxis*)

Hay una relación positiva en la innovación, pero la concentración de la innovación es mayor en el centro del país. Esto puede limitar el alcance del objetivo de impulsar la innovación en las economías de bajo crecimiento, ya que se busca mayor homogeneidad regional. También hay concentración por nivel de ingresos. En los resultados por regiones de ingreso, se encontró a la región de ingresos elevados como la de mejor desempeño porque educación, inversión y desempeño económico elevaron las patentes. De acuerdo con el análisis por región geográfica, la Ciudad de México sobresale porque registra efectos superiores sobre el patentamiento en comparación con el resto de las regiones. Esto demuestra el papel de la geografía de la innovación en la reconfiguración de periferias (Glückler, Shearmur, y Martinus, 2023).

En los modelos con dependencia espacial, los sectores de alta tecnología resultaron con un coeficiente altamente significativo para 2020. Un aumento del 1% en el producto de los sectores de alta tecnología, resultó en la generación de aproximadamente siete patentes.

Las capacidades de innovación no son regionalmente homogéneas, por lo que el impulso a la innovación generará crecimiento sostenible desigual entre las regiones mexicanas, lo que se traducirá en ampliación de las desigualdades de bienestar e ingreso, algunas regiones mejorarán, mientras que otras se estancarán.

7. CONCLUSIONES

A continuación, exponemos las principales conclusiones y hallazgos.

7.1. Cómo se responde a la pregunta e hipótesis de investigación

Se confirma la teoría de que la innovación toma lugar en espacios geográficamente concentrados. En la economía regional globalmente-conectada manejada por innovación, las fuerzas de aglomeración manifestadas en ingresos, tecnología e inversiones continúan subrayando esta importancia.

7.2. Hallazgos de la investigación

En teoría, entender las causas del crecimiento económico implica considerar la innovación como elemento dinamizador. El trabajo logró resolver las dudas planteadas sobre qué elementos determinan el potencial innovador. Se encontró que el crecimiento de los estados se explica por el fortalecimiento de los sectores de alta tecnología y la mayor inversión extranjera, ya que crean patentes y estas representan mayor innovación que genera crecimiento. Además, los estados con mayor aglomeración registran más patentes, esta diferencia en innovación acentúa la brecha regional de ingresos. Por otro lado, la crisis de 2008 no afectó la innovación, lo que significa que sus efectos solo fueron transitorios. Se encuentra que en los estados de más bajo uso de tecnologías se crean menos patentes y se ralentiza el crecimiento económico. Por tanto, este trabajo demuestra que innovación y crecimiento sostenible están vinculados.

7.3. Alcances finales de la investigación

La pregunta es ¿cómo impulsar la innovación para generar crecimiento sostenible regional? Una idea es mejorar la educación, sin esta no se eleva el nivel de tecnología. Un camino más corto es atraer inversiones extranjeras, ya que contienen alta tecnología. El problema es que los países emergentes requieren generar empleos y las tecnologías utilizan menor cantidad de trabajo. Una paradoja.

La evidencia puede extenderse en un modelo de panel. La riqueza de información en un panel con dependencia espacial deja una perspectiva más concisa de los determinantes de la innovación.

8. REFERENCIAS

- Almendarez-Hernández, M. A. (2018). Determinantes de las patentes y otras formas de propiedad intelectual de los estados mexicanos. *Economía, Sociedad y Territorio*, 18(58). <http://dx.doi.org/10.22136/est20181223>
- Ahlstrom, D. (2015). Innovation and Growth in Emerging Economies. In Austrian Council for Research and Technology Development (ed.) *Designing the Future. Economic, Societal and Political Dimensions of Innovation*. Echomedia, Vienna. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: https://www.academia.edu/19207313/Innovation_and_growth_in_emerging_economies
- Beltrán-Morales, L. F., Almendarez, M. A. y Jefferson, D. J. (2018). El efecto de la innovación en el desarrollo y crecimiento de México: una aproximación usando las patentes. *Problemas del Desarrollo*, 49(195), 55-76. <http://dx.doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.195.63191>
- Bianchi, C., Galaso, P. y Palomeque, S. (2021). The Tradeoffs of Brokerage in Innovation Networks: A Study of Latin American Cities. Instituto de Economía. Serie Documentos de Trabajo DT 21/2021. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/30204/1/dt-21-21-1.pdf>
- Blacutt-Olmos J. A. (2021). La innovación, un tema recorriendo los caminos de la teoría de la administración. *Perspectivas*, 47, 123-138. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: https://www.researchgate.net/publication/353333158_La_innovacion_un_tema_recorre_ndo_los_caminos_de_la_teor%C3%ADa_de_la_administracion
- Bristow, G. y Healy, A. (2018). Innovation and Regional Economic Resilience: An Exploratory Analysis. *The Annals of Regional Science*, 60, 265-284. <http://dx.doi.org/10.1007/s00168-017-0841-6>
- Bruna, F. y Fernández-Sastre, J. (2021). Regional Characteristics and the Decision to Innovate in a Developing Country: A Multilevel Analysis of Ecuadorian Firms. *Papers in Regional Science*, 100(6), 1337-1354. <http://dx.doi.org/10.1111/pirs.12632>
- Bucci, A., Carbonari, L., Mazeda, P. y Trovato, G. (2021). Economic Growth and Innovation Complexity: An Empirical Estimation of A Hidden Markov Model. *Economic Modelling*, 98, 86-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2021.02.006>

- Campa, J. I. (2018). Patentes y desenvolvimiento tecnológico en México: un estudio comparativo entre la época de industrialización proteccionista y el régimen de apertura. *América Latina en la Historia Económica*, 25(3), 223-257. <http://dx.doi.org/10.18232/alhe.879>
- Campo-Robledo, J. y Herrera-Saavedra, J. P. (2016). Patentes y crecimiento económico: ¿innovación de residentes o no residentes? *Desarrollo y Sociedad*, 76, 243-272. <http://dx.doi.org/10.13043/dys.76.6>
- Castillo-Esparza, M. M. G. C.; Cuevas-Pichardo, L. J. y Montejano-García, S. (2022). Innovación en México: patentes, gasto en I&D y capital humano. *Scientia et Praxis*, 2(4), 82-103. <https://doi.org/10.55965/setp.2.coed.a4>
- Chu, Z., Wang, L. y Lai, F. (2018). Customer Pressure and Green Innovations at Third Party Logistics Providers in China: The Moderation Effect of Organizational Culture. *The International Journal of Logistics Management*, 30(1), 57-75. <http://dx.doi.org/10.1108/ijlm-11-2017-0294>
- Decyk, K. (2024). Innovative activity of the service sector of the EU member states. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 6969-6994. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01143-w>
- Díaz-Muñoz, G. y Guambi-Espinosa, D. (2018). La innovación: baluarte fundamental para las organizaciones. *INNOVA Research Journal*, 3(10.1). <http://dx.doi.org/10.33890/innova.v3.n10.1.2018.843>
- Fernández, J. (2015). Economía neo-schumpeteriana, innovación y política tecnológica. *Cuadernos de Economía*, 38(107), 79-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cesjef.2015.03.001>
- Friz, K. y Günther, J. (2021). Innovation and Economic Crisis in Transition Economies. *Eurasian Business Review*, 11, 537-563. <http://dx.doi.org/10.1007/s40821-021-00192-y>
- Germán-Soto, V. y Gutiérrez Flores, L. (2013). Assessing Some Determinants of the Regional Patenting: An Essay from the Mexican States. *Technology and Investment*, 4, 1-9. <http://dx.doi.org/10.4236/ti.2013.43b001>
- German-Soto, V., Gutiérrez Flores, L. y Tovar Montiel, S. H. (2009). Factores y relevancia geográfica del proceso de innovación regional en México, 1994-2006. *Estudios Económicos*, 24(2), 225-248. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: <https://estudioeconomicos.colmex.mx/index.php/economicos/article/view/124>
- German-Soto, V., Soto Rubio, M. y Gutiérrez Flores, L. (2021). Innovación y crecimiento económico regional: evidencia para México. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía*, 52(205). <http://dx.doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2021.205.69710>
- Germán-Soto, V., Soto Rubio, M. y Gutiérrez Flores, L. (2023). Patentes, tamaño de empresa y financiamiento público en México: análisis regional con modelos de datos de conteo. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 18(1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.21919/remef.v18i1.569>
- Giménez, G., Pastor Pérez, M. y Malacara Hernández, H. M. (2017). Factores de innovación en los estados de México. ¿A qué se deben las diferencias entre estados con mayor y menor dinamismo innovador? *Investigación Económica*, 76(302). <http://dx.doi.org/10.1016/j.inveco.2017.06.003>
- Glückler, J., Shearmur, R. y Martinus, K. (2023). Liability or Opportunity? Reconceptualizing the Periphery and Its Role in Innovation. *Journal of Economic Geography*, 23, 231-249. <http://dx.doi.org/10.1093/jeg/lbac028>

- Gordon, R. J. (2018). Why Has Economic Growth Slowed When Innovation Appears To Be Accelerating? NBER Working Paper Series, W.P. No. 24554. <http://dx.doi.org/10.3386/w24554>
- Greene, W. H. (2008). *Econometric Analysis*, Prentice Hall, New Jersey. https://books.google.com.mx/books/about/Econometric_Analysis.html?id=b541vgAACAAJ&redir_esc=y
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024). *Sistemas de consulta*. Consultado el 26-Oct-2024, de: <https://www.inegi.org.mx/>
- Kataishi, R. y Brixner, C. (2022). Las teorías económicas dominantes sobre ciencia, tecnología e innovación en discusión. *Ciencia, Tecnología y Política*, 5(8), 60-70 <http://dx.doi.org/10.24215/26183188e074>
- León-Balderrama, J., del Castillo-García, Y. y Preciado-Rodríguez, J. (2018). Productividad de patentes y capacidades de innovación en las entidades federativas de México. *Paradigma Económico*, 10(1), 49-80. <http://dx.doi.org/10.25009/uvserva.v0i6.2583>
- León-Balderrama, J. I., Preciado-Rodríguez, J. M. y Valdez-Lafarga, C. (2024). Innovation Capacities of Mexican States. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(6), e07484. <http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-126>
- Méndez-Delgado, A. V. (2018). Algunos determinantes de la propensión a la innovación de productos en México: el efecto del gasto en I&D y los spillovers de conocimientos. *Estudios Económicos*, 33(1), 29-63. <http://dx.doi.org/10.24201/ee.v33i1.353>
- Molero, J. y Lordén, M. (2020). Efecto del gasto en I+D interno en la eficiencia tecnológica de empresas españolas. Análisis comparativo durante el periodo de crisis de 2008-2012. *Revista CTS*, 15(44), 71-93. <http://dx.doi.org/10.35376/10324/16389>
- Naciones Unidas (ONU) (2023). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible. Edición especial*. Nueva York, Naciones Unidas. <http://www.un.org/publications>
- Nuño-Velasco, R. J. y Mejía-Trejo, J. (2022). El capital intelectual y el impulso social de la innovación tecnológica para la valuación de patentes. *Scientia et Praxis*, 2(4), 59-74. <https://doi.org/10.55965/setp.2.04.a4>
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2005). *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. París, Tragas. Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: https://drive.google.com/file/d/0B4_85li_Ut0KOWVmZGZmYjMtMWFmYS00ZGMxLTlhMzgtYjU2OTM5NjVkZGZj/view?resourcekey=0-K_1LnMUCYWgjaR3VRKVeRA
- Peñaloza-Talavera, M. F. y Martínez-Arroyo, J. (2020). Efecto de la innovación sobre el crecimiento económico de México: Análisis empírico con el modelo de crecimiento endógeno de Romer. *Revista de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas*, 5(9), 1-11. <http://dx.doi.org/10.29057/icea.v3i5.112>
- Olivas-Castellanos, E. C. y De Gunther-Delgado, L. (2022). Strategic Innovation: Conception of Innovation among Social Sciences Researchers in Higher Education in Northwestern México. *Innovative Higher Education*, 47, 855-874. <https://doi.org/10.1007/s10755-022-09607-8>
- Quevedo, L. F. (2019). Aproximación crítica a la teoría económica propuesta por Schumpeter. *Investigación y Negocios*, 12(20). Consultado el 15 de septiembre de 2024 en: https://www.researchgate.net/publication/336070150_Aproximacion_critica_a_la_teor%C3%ADa_econ%C3%B3mica_propuesta_por_Schumpeter

- Ramírez-Álvarez, A. A. y Terrazas-Santamaría, D. (2020). Evolución temporal del impacto tecnológico de las patentes mexicanas: una aplicación del algoritmo de expectativas. *Estudios Económicos*, 35(1), 37-69. <http://dx.doi.org/10.24201/ee.v35i1.397>
- Ríos-Rodríguez, L. del C. (2022). Factores que influyen en la Gestión de la Innovación en empresas financiadas por el Gobierno Federal. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 7(19), 37–67. <http://dx.doi.org/10.36791/tcg.v7i19.133>
- Sánchez-Tovar, Y., García-Fernández, F. y Mendoza-Flores, E. (2014). Determinantes de la capacidad de innovación regional en México. Una tipología de las regiones. *Región y Sociedad*, 26(61), 119-160. <http://dx.doi.org/10.22198/rys.2014.61.a62>
- Shepherd, B. (2017). Openness and Innovation: Firm-level Evidence from India. *South Asia Economic Journal*, 18(1), 64-75. <http://dx.doi.org/10.1177/1391561416689748>
- Tchuinkam D., Charles R. y Hinaunye Eita, J. (2024). Modelling Foreign Exchange Rate Co-Movement and Its Spatial Dependence in Emerging Markets: A Spatial Econometric Approach. *Empirical Economics*, 66, 979-1011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00181-023-02482-y>
- Zhou, G. y Luo, S. (2018). Higher Education Input, Technological Innovation, and Economic Growth in China. *Sustainability*, article 2615. <http://dx.doi.org/10.3390/su10082615>
- Zinovyeva, I. S., Kozenko, Y. A., Gerasimov, K. B., Dubova, Y. I. e Irizepova, M. S. (2016). Regional Innovation Development as a Feature of Competitiveness in the XXI Century. *Contemporary Economics*, 10(4), 333-342. <http://dx.doi.org/10.5709/ce.1897-9254.220>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol.04. No.08. Jul-Dic (2024): 160-191

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a6>

eISSN: 2954-4041

Estrategias de Innovación para el Desarrollo Sostenible: Engagement Laboral y Conductas Cívicas Organizacionales en Universidades Públicas de Zacatecas

Innovation Strategies for Sustainable Development: Work Engagement and Organizational Civic Behaviors in Public Universities of Zacatecas

José Iván Padilla-Lugo. ORCID: [0000-0001-6898-6425](https://orcid.org/0000-0001-6898-6425)

Unidad Académica de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Zacatecas, México
e-mail: joseivan@unizacatecas.edu.mx

José Roberto González-Hernández. ORCID: [0000-0003-0081-7056](https://orcid.org/0000-0003-0081-7056)

Unidad Académica de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Zacatecas, México
e-mail: joseroberto@unizacatecas.edu.mx

Palabras Clave: engagement laboral, comportamiento de ciudadanía organizacional, educación, docentes, correlación de Spearman.

Keywords: work engagement, organizational citizenship behavior, education, teachers, Spearman correlation.

Recibido: 2-Ago-2024 ; **Aceptado:** 7-Nov-2024

RESUMEN

Contexto. Las instituciones educativas de nivel superior en México involucran la interacción humana y la disposición de prestar servicios de calidad. Es importante estudiar los comportamientos cívicos de los trabajadores universitarios y sus actitudes debido a los cambios tecnológicos y culturales.

Problema. El estado mental positivo al realizar el trabajo “*engagement*” (**EL**) y los comportamientos cívicos (**CCO**) son poco estudiados en instituciones de nivel superior en México.

Objetivo. Identificar el nivel de **EL** en los **CCO** en el personal de dos universidades públicas que permita conocer prácticas administrativas que incidan en comportamientos proclives a la innovación en sus docentes y trabajadores.

Metodología. El primer semestre de 2024 se encuestó a una muestra no probabilística de 280 trabajadores universitarios, 145 docentes y 135 administrativos. Para el análisis de datos, se utilizó la correlación de Spearman (**rho**).

Hallazgos Teóricos y Prácticos. Incrementos en **EL** repercuten favorablemente en el conjunto de conductas prosociales discrecionales en los trabajadores universitarios (**CCO**). En la práctica administrativa esta asociación muestra la relevancia de impulsar las conductas prosociales a favor de las instituciones educativas.

Originalidad basada en un enfoque multidisciplinario que promueve la innovación para el desarrollo sostenible. **EL** y **CCO** son adaptaciones transdisciplinarias de la psicología social que generan conocimiento teórico-práctico susceptible de contribuir al desarrollo e innovación en las organizaciones públicas o privadas. Sientan bases para contribuir en los objetivos de desarrollo sostenible (**ODS**) de formación de instituciones eficaces y responsables (**ODS16**) y a brindar una educación de calidad, equitativa e inclusiva (**ODS4**).

Conclusiones y limitaciones. Un estado mental positivo constante al trabajar puede ser un predictor confiable a mostrar conductas prosociales en las organizaciones. Una limitación es extrapolar los resultados a otros sectores de la economía.

ABSTRACT

Context. Higher educational institutions in Mexico involve human interaction and the willingness to provide quality services. Studying university workers' civic behaviors and attitudes due to technological and cultural changes is essential.

Problem. The positive mental state when carrying out work “*engagement*” (**WE**) and civic behaviors (**OCB**) is little studied in higher-level institutions in Mexico.

Purpose. Identify the level of **WE** in the **OCB** in the staff of two public universities that allows us to know administrative practices that affect behaviors prone to innovation in their teachers and workers.

Methodology. In the first semester of 2024, a non-probabilistic sample of 280 university workers, 145 teachers and 135 administrators, was surveyed; The analysis was performed using Spearman correlation (**rho**).

Theoretical and Practical Findings. Increases in **EL** have a favorable impact on the set of discretionary prosocial behaviors in university workers (**OCB**). In administrative practice, this association shows the relevance of promoting prosocial behaviors in favor of educational institutions.

Originality based on a multidisciplinary approach that promotes innovation for sustainable development. **EL** and **OCB** are transdisciplinary adaptations of social psychology that generate theoretical-practical knowledge that can contribute to development and innovation in public or private organizations. They lay the foundations to contribute to the sustainable development goals (**SDG**) of formation of effective and responsible institutions (**SDG16**) and to provide quality, equitable and inclusive education (**SDG4**).

Conclusions and limitations. A constant positive state of mind when working can be a reliable predictor of showing prosocial behaviors in organizations. One limitation is to extrapolate the results to other sectors of the economy.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Naciones Unidas, los objetivos de desarrollo sostenible “*Constituyen una invocación al mundo sobre las acciones para poner fin a la pobreza, cuidar el planeta y mejorar la vida y perspectiva de todos en el mundo*” (ONU, 2015), y para ello, entre muchas otras acciones, es necesario “*crear instituciones efectivas, responsables e incluyentes*” además de “*eficaces y fortalecidas*” (ODS 16) (NUM, 2024). Para lograr tales instituciones resulta fundamental la gestión y desarrollo de sus recursos humanos, en especial en las instituciones educativas públicas ya que, como lo afirma Hajaj et al. (2023), son su activo más valioso.

La calidad de los prestadores de servicios educativos, desde docentes, personal administrativo y de apoyo juegan un papel primordial desde los valores, las actitudes, aptitudes, las competencias y comportamientos que directa e indirectamente repercuten en la formación de los educandos; esto impacta en el ODS 4, apartado (4c), “*incrementar la oferta de profesores bien calificados y formados*” (NUM, 2024).

Algunos comportamientos organizacionales han sido escasamente estudiados como medios de mejora institucional y educativa en Latinoamérica, entre ellos el “*engagement laboral*” y los “*comportamientos cívicos organizacionales*”. Gran parte de la literatura reciente sobre estas variables en el sector educativo proviene principalmente de Asia. Los trabajos se han enfocado en examinar la vinculación positiva con el trabajo de los profesores y en su implicación como un antecedente de conductas prosociales. Los resultados de estos trabajos apoyan la idea de que las personas con un estado de ánimo positivo es más probable que ayuden a otros compañeros y velen por conductas más favorables hacia la propia institución donde laboran (Adil y Khan, 2020; Ali, 2020; Hayati y Arifini, 2024; Hsieh, et al. 2022; Juwita, et al. 2023; Rajput y Sharma, 2022 y Sajad, et al. 2018).

En específico, el “*engagement*” laboral “*es pensar positivamente sobre el trabajo y tener un pensamiento serio y consistente, en particular es el estado de conexión positiva con la labor que se distingue por altos niveles de vigor, absorción y dedicación*” (Schaufeli, et al. 2006 citados en Juwita et al. 2023, p.101). Bakker y Albrecht (2018) señalaron que el “*engagement*” laboral es uno de los predictores más populares y esenciales de comportamientos positivos en las organizaciones y en muchos de los casos poco valorados. Los comportamientos cívicos se definen

como “conducta de los empleados que tienen la intención de hacer un esfuerzo adicional o actuar más allá del cumplimiento del deber” (Bogler y Somech, 2019, p.790).

Con la finalidad aportar al reforzamiento y fortalecimiento de las instituciones educativas y aumentar la calidad en la formación del personal universitario a partir de la generación de conocimiento sobre estas actitudes y comportamientos organizacionales, la pregunta que guía al presente trabajo es: *¿Existe una relación entre el engagement laboral y las conductas cívicas organizacionales del personal de dos universidades públicas de Zacatecas, México, para considerarlas como estrategias de innovación para el desarrollo sostenible?*

2. CONTEXTUALIZACIÓN

Aquí se muestra el contexto de los tópicos o variables de estudio, comenzando por el Sistema Educativo en México, la Educación superior en México y el escenario de las Universidades Tecnológicas y Politécnicas.

2.1. El Sistema educativo nacional

Como antecedente es importante ubicarse dentro del sistema de educación superior a nivel México. En el artículo tercero 3º en la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos el derecho humano a la educación de calidad para todos los niños y jóvenes y para aplicar ese derecho se plasma en el Sistema Educativo Nacional (**SEN**) que señala a las instituciones del estado y de la sociedad son las que deben de generar servicios educativos y conservar, traspasar y engrandecer la cultura de los mexicanos; el sistema está formado por, educación Básica, Media Superior y Superior, de forma escolarizada, no escolarizada o mezclada (RecoLATIN, 2019).

2.2. Educación Superior en México

En la Secretaría de Educación Pública (**SEP**), existe la Subsecretaria de Educación Superior (**SES**) y es la encargada de incentivar la educación de calidad que permita la formación de profesionistas comprometidos con el desarrollo local y regional; para abonar a la construcción de una sociedad equitativa (Gobierno de México, 2019). Mediante planes, programas y políticas públicas la **SES** labora para ofrecer educación neutral, oportuna, diversa, con desarrollo e

innovación y flexible. Siempre buscando avanzar hacia la consolidación de un sistema educacional integrado y vinculado, promotor del equilibrio en la educación (Gobierno de México, 2019). En México el nivel superior está formado por: escuelas normales, universidades, institutos tecnológicos, universidades tecnológicas y otras instituciones de orden público. A su vez, comprende, niveles de técnico superior universitario, profesional asociado, especialidades, licenciaturas, maestrías y doctorados. **La Tabla 1** muestra en resumen los tipos de instituciones de educación superior públicas en México (Gobierno de México, 2019).

Tabla 1. Instituciones de educación superior pública en México

Universidades e Instituciones de Educación Superior públicas	
Universidades Públicas Federales	Universidades Politécnicas
Universidades Públicas estatales	Universidades Pedagógicas
Universidades Tecnológicas	Universidades Abiertas y a Distancias
Universidades Públicas Estatales con Apoyo Solidario	Universidades Interculturales
Institutos Tecnológicos	Escuelas Normales Públicas
Centros Públicos de Investigación	Otras Instituciones Públicas

Fuente: Elaboración propia con base en Gobierno de México (2019).

2.3. Universidades Tecnológicas y Politécnicas

Ahora se describen algunas características de universidades politécnicas y tecnológicas que son la unidad de análisis del trabajo realizado. Se observan en esta investigación personal de una Universidad tecnológica (**UTec1**) y de una Politécnica (**UPoli2**) debido a su pertenencia al mismo subsistema de educación superior (Subsistema tecnológico), a la similitud de sus proyectos educativos, estructuras organizacionales y relaciones laborales.

De acuerdo con la Dirección General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas (**DGUTYP**), este tipo de instituciones comenzaron a operar en México en 1991 como resultado de un modelo europeo francés que instaura las universidades de tecnología; el propósito inicial de estas instituciones educativas fue el descentralizar los servicios educativos y diversificar la oferta con nivel técnico superior universitario; algo que era inédito en la pirámide de educación en México, (DGUTYP, 2020). De igual manera buscan apoyar la vinculación académica con el sector industrial, estar cerca de las empresas y empleadores, quienes son los que realmente ofertan los puestos de trabajo para los egresados de este modelo educativo; de la misma forma el mérito académico de los profesores, los cuales deben tener nivel de preparación académica con estudios

de posgrado (DGUTYP, 2020). Este tipo de instituciones tecnológicas y politécnicas ofertan a los posibles estudiantes que culminan su educación media superior formarse de manera intensiva para incorporarse rápidamente al mundo laboral productivo (2 años), o a seguir con sus estudios de nivel licenciatura en alguna otra institución de nivel superior.

Este modelo está orientado a un aprendizaje a lo largo de la vida enfocado en el análisis, la deducción y el uso de la información (Gobierno de México, 2022). En México hoy en día existen 183 universidades tecnológicas y politécnicas, con 284 891 estudiantes, 6 319 son indígenas y 1 234 cuentan con alguna discapacidad; existen a la fecha 120 universidades tecnológicas en 31 estados de la república y alrededor de 15 392 maestros de tiempo parcial y 6 295 de tiempo completo. De igual manera existen 63 universidades politécnicas en 24 estados con 6 166 profesores, estos datos tomados del (SIIES, 2023).

Considerando que los docentes y todo el personal administrativo son un factor de gran influencia en la educación superior, se debe tomar en cuenta la calidad de estos, siendo los sindicatos de trabajadores junto con los contratos colectivos de trabajo (CCT) precursores fundamentales en el crecimiento y desarrollo de los mismos. Tanto los profesores como el personal administrativo de este modelo universitario pertenecen a un sindicato de trabajadores y de personal académico, son asociaciones en protección de los intereses de los sindicalizados, con plena independencia y autonomía, buscan calidad en la enseñanza de los profesores y el personal que laboral en áreas administrativas. En la universidad tecnológica se denomina Sindicato Único de Trabajadores de la Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas. En la Universidad Politécnica se nombra Sindicato del Personal Académico y Administrativo de la Universidad Politécnica de Zacatecas (SUTUTEZ, 2024; SUPAAUPZ, 2024).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se presentan de forma sintética los conceptos y constructos que, a partir de la revisión de literatura, fundamentan teórica y operacionalmente las variables de estudio del presente trabajo. Se sigue con una revisión de investigaciones recientes que involucran las variables aquí estudiadas en el sector educativo y que permiten establecer las hipótesis de

investigación. Así mismo se señalan las herramientas seleccionadas para la recolección de información.

3.1. Estrategias de Innovación para el Desarrollo Sostenible: Engagement Laboral y Conductas Cívicas Organizacionales.

La relación entre el (EL) y el (CCO) se asocia a la calidad de los trabajadores universitarios, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible “cultura de la educación de calidad” (ODS4) y el (ODS16) “*crear instituciones eficaces, responsables e incluyentes y fortalecidas*”. Desarrollando y aplicando estrategias para la generación de cambios innovadores positivos en los comportamientos organizacionales que generen mejoras en la calidad educativa de nivel superior para el desarrollo sostenible (ODS).

Aquí se presentan los constructos estudiados y la revisión de investigaciones empíricas previas de instituciones educativas que abordan el análisis de estas variables desde diferentes perspectivas y contextos. Una vez revisada la literatura se generaron las hipótesis de trabajo a contrastar. De igual forma, más adelante se presenta el modelo teórico que muestra la asociación entre variables. En estudios sobre cultura y comportamiento organizacional es común analizar los constructos mediante la asociación o relación entre variables o dimensiones (Vera-Noriega, et al. 2023 y Morales-Morales et al. 2023).

3.2. Engagement laboral (EL)

Los autores más reconocidos sobre el “*engagement*” laboral son Schaufeli y Bakker (2004) en el sector de la psicología administrativa u organizacional. Afirman que el “*engagement*” laboral (EL) es “*un estado mental positivo y satisfactorio experimentado al realizar el trabajo, que no se caracteriza por ser momentáneo, sino más bien hace referencia a un estado afectivo y cognitivo persistente en el tiempo*”. Sus dimensiones se conforman por:

- 1. Vigor (dimensión conductual)**, hace énfasis a altos niveles de energía y resiliencia mientras se está laborado, es decir, el ánimo de esforzarse y a la continuidad aun si se presentan obstáculos,

2. **Dedicación (dimensión afectiva)**, que hace énfasis en los altos niveles de implicación laboral y la emotiva significancia del mismo, así como en los atributos de entusiasmo, orgullo, inspiración y desafío en el trabajo, y
3. **Absorción (dimensión cognitiva)**, que representa la concentración total y disfrute del trabajo, donde el subordinado no se da cuenta del paso del tiempo y fluye en su trabajo pues tiene dificultad de separarse o desligarse de lo que se está haciendo debido a esa alta concentración y disfrute (Bakker, et al. 2008). **EL** es la capacidad de los empleados para asumir plenamente el rol cognitiva y conductualmente; también se ha explorado como clave para lograr resultados organizacionales positivos (Arif et al. 2023). Se dice que el **EL** de los empleados es un estado psicológico en el que se sienten dispuestos a desempeñarse bien y contribuir al lograr los objetivos organizacionales (Quansah et al. 2023), y con el que también intentarán comprender cómo pueden hacer que la organización sobresalga (Srivastava y Madan, 2016). Igualmente, según Tufail et al. (2017) el **EL** estimula a que los empleados realicen algunos comportamientos discrecionales espontáneos positivos.

El “*engagement*” laboral como variable independiente de tres dimensiones se ha operacionalizado en cuestionario de auto llenado – denominado **UWES** (Utrecht Work Engagement Scale) (Schaufeli et al. 2004); el “*engagement*” laboral se ha evaluado con 24 ítems contruidos en un instrumento que posteriormente se redujo y permite conseguir una medida exclusiva o a descubrir medidas para los tres factores o dimensiones en 17 ítems. Los mismos autores proporcionaron versiones en distintos idiomas de su cuestionario incluido el español. Este instrumento se ha validado en distintas momentos y ámbitos culturales y actividades económicas (Adachi y Inaba, 2022; Fong y Ng, 2012; Serrano et al. 2019; Vallières et al. 2017) y en concreto en trabajadores de educación superior (Coetzee y Rothmann, 2005; Ramos et al. 2021).

Schaufeli, et al. (2006) trabajaron un nuevo instrumento validando 9 ítems, la llamada escala de compromiso laboral **UWES-9**, con resultados satisfactorios para mediciones de “*engagement*” laboral y académico. Este instrumento corto se validó para México en trabajadores de salud (Hernández-Vargas et al. 2016).

En 2019 se presentó la validación de un “Ultracorto” instrumento de medida de **EL** de sólo 3 ítems (Schaufeli et al. 2019).

3.3. Comportamiento de ciudadanía organizacional (CCO)

Fueron Bateman y Organ (1983) quienes comienzan en los 80 a estudiar el constructo de conductas de civismo en las organizaciones (**CCO**) llamado también (**OCB**. Organizational Citizenship Behavior) (Bateman y Organ 1983). Las bases de estos estudios se centran en los trabajos de Kantz (1964, citado en De Geus et al. 2020) que ubicó tres formas básicas de conductas para el buen funcionamiento organizacional; el primero aparece relacionado a la necesidad de pasar y continuar en un sistema, el segundo tipo de comportamiento las personas tienen que hacer una petición ajena de su papel específico de una forma amable y fiel, el tercero señala que debe haber una acción innovadora y natural, es decir, hacer más de las funciones prescritas en su rol, es decir, actividades voluntarias discrecionales, ya que cualquier sistema formal donde solo se dependa de modelos prescritos formales, se catalogan como sistemas sociales muy endeblés.

Centrándose en este último comportamiento, la naturaleza de la voluntariedad está relacionada con que la acción sea un deseo personal, los empleados con conductas prosociales se caracterizan por la disposición a superar los objetivos mínimos establecidos por la organización y trabajarán voluntariamente, incluso fuera de sus deberes y responsabilidades (Siregar et al, 2023). Este fenómeno surge cuando los individuos experimentan una sensación de satisfacción en un ambiente organizacional, llevándolos así a aventajar las expectativas marcadas por la organización (Siregar et al. 2023). Este comportamiento no está incluido en los requisitos o descripción del trabajo, por lo que no incurrirá en algún sometimiento o represalia si no se muestra (Lee, 2020).

Por otro lado, ya en los años dos miles el concepto de **CCO** lo fundamentan Organ, et al. (2006) afirmando que se trata de las contribuciones de los individuos que van más allá del contenido de las obligaciones contractuales, del acatamiento a la autoridad legítima o la remuneración mediada por la organización formal. Organ (2006) y Podsakoff et al. (2000) señalan que existen casi treinta formas diferentes de **CCO**, lo cual los lleva a la conclusión que esta multidimensionalidad podría ser estudiada con base en **siete grandes dimensiones: 1.** Altruismo,

2. Espíritu deportivo o deportividad, 3. Lealtad, 4. El cumplimiento, 5. La iniciativa, 6. Virtud cívica y 7. Auto-desarrollo.

El cuestionario aplicado para este estudio se compone sobre la base de las siete dimensiones de Podsakoff et al. (2000) y Organ et al. (2006) integradas por 22 ítems mediante una escala de cinco niveles de Likert.

3.4. Engagement laboral (EL) y el comportamiento de ciudadanía organizacional (CCO) en la innovación para el desarrollo sostenible basado en los ODS

Castro Díaz et al. (2000) definen la innovación como: *"el proceso de creación, desarrollo, producción, comercialización y difusión de nuevos y mejores productos, procesos y procedimientos en la sociedad"*. Por su parte, la sostenibilidad del desarrollo involucra un proceso melódico, donde la obtención de recursos, las invenciones, los cambios tecnológicos y los cambios en las organizaciones deben corresponder con la necesidad de las nuevas generaciones y venideras. El desarrollo es una serie de etapas que requiere avances en materia económica y social como en el ámbito ambiental y de desarrollo humano, según Pichs (2002). De acuerdo con Naciones Unidas (ONU, 2015), los objetivos de desarrollo *"constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger y cuidar el planeta mejorando las vidas y perspectivas de las personas en todo el mundo"* de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

La relación entre el (EL) y el (CCO) se asocia a la calidad de los trabajadores universitarios, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible *"cultura de la educación de calidad"* (ODS4) y el (ODS16) *"crear instituciones eficaces, responsables e incluyentes y fortalecidas"*. Esto implicaría la generación de cambios innovadores positivos en los comportamientos organizacionales que generen mejoras en la calidad educativa de nivel superior para el desarrollo sostenible (ODS).

3.7. Estudios de EL y CCO en el sector educativo

En cuanto a estudios que analicen **EL** y **CCO** como variables en conjunto en el sector educativo, predominan de los más actuales llevados a cabo en Asia. Primeramente con personal de una universidad privada en Kalimantan Indonesia, Hayati y Arifin (2024) determinaron cómo influye el “*engagement*” laboral (**EL**) y el intercambio de miembros líderes en conductas cívicas organizacionales (**CCO**) con la motivación laboral como variable mediadora. Por su parte, en otra investigación se examinó la influencia directa e indirecta del clima y **EL** en las **CCO**, siendo la motivación laboral la variable mediadora; en el estudio participaron profesores de tres escuelas especiales en Sleman, Bantul, región especial de Yogyakarta, Indonesia (Juwita, et al. 2023). Hsieh et al. (2022) exploraron las relaciones entre apoyo organizacional, **EL** y **CCO** en el contexto educativo con maestros de escuelas primarias en Taiwán. El apoyo organizacional se examinó a nivel individual y el apoyo organizacional percibido a nivel de grupo. Otro estudio analizó a profesores de dos universidades públicas y cuatro privadas de Karachi (Pakistán), se estudió a) el efecto del clima organizacional, el apoyo del supervisor y **CCO** en el “*engagement*” cognitivo laboral (**ECL**); b) el efecto del **ECL** en el desempeño del profesorado; y c) los roles moderadores del estrés ocupacional y la tutoría para la relación positiva entre **ECL** y el desempeño docente (Adil y Khan, 2020). Por otro lado, Ali (2020) investigó el efecto mediador de la ventaja competitiva en las relaciones entre el intercambio de conocimientos, **EL** y **CCO** en trabajadores universitarios en Jordania. Sajad, et al. (2018) estudiaron la relación entre **EL** de los trabajadores en el sector educativo de Pakistán y su compromiso organizacional y **CCO**. Del marco teórico se enuncian las hipótesis de trabajo los supuestos considerando los constructos de trabajo multidimensionales de cada variable:

HG: “*El engagement laboral (EL) tiene un impacto positivo y significativo en las conductas cívicas organizacionales (CCO) en el entorno de trabajo del personal de la Universidad Tecnológica (Utec1) y la Universidad Politécnica (Upoli2) de Zacatecas en concordancia con los ODS 4 y ODS 16.*”

H1: “*Existe mayor relación positiva entre EL y CCO en la Universidad Tecnológica (Utec1) que en la Universidad Politécnica (Upoli2) promoviendo prácticas que contribuyan a un ambiente laboral inclusivo y pacífico, en línea con los ODS 4 y ODS 16.*”

H2: “Existe mayor relación positiva entre **EL** y **CCO** en el Personal administrativo que en el Personal docente lo cual apoya el desarrollo de un entorno laboral equitativo e inclusivo, contribuyendo a los **ODS 4** y **ODS 16**.”

H3: “Existe mayor relación positiva entre **EL** y **CCO** en el Personal masculino que en el Personal femenino promoviendo la reflexión sobre igualdad de género e inclusión en el ambiente laboral, alineándose con los principios de los **ODS 4** y **ODS 16**.”

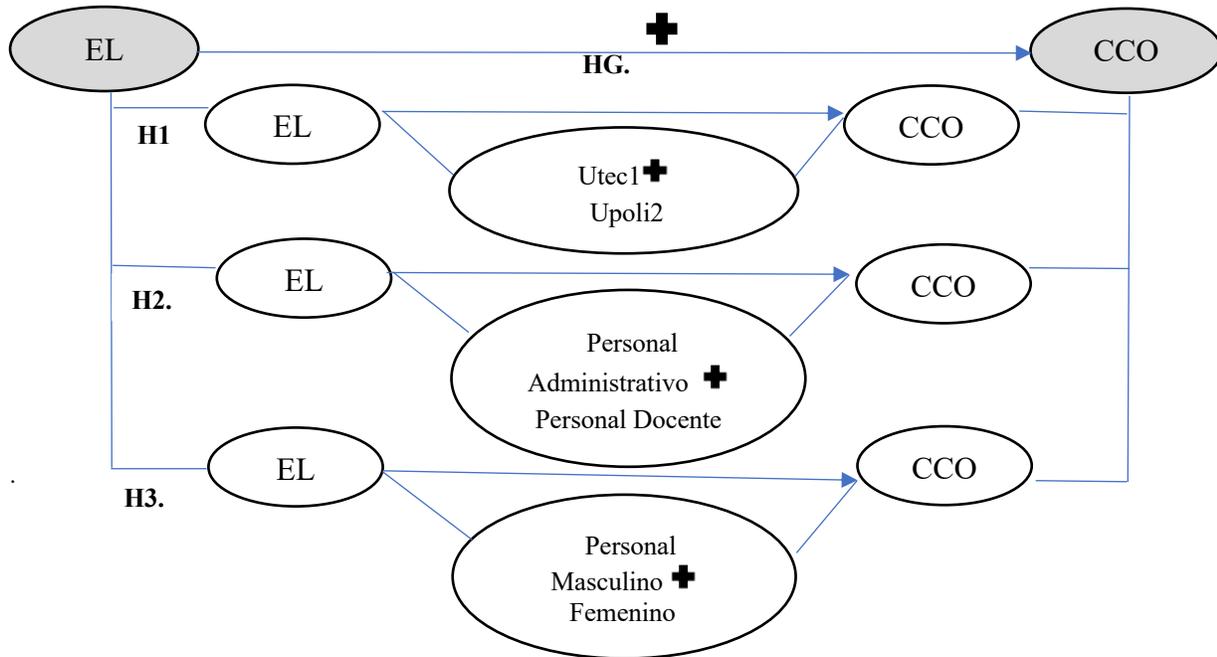
3.8. Diseño del instrumento de medición y/o materiales

En la revisión de literatura se revisaron y exploraron los instrumentos de medición, las dimensiones de los constructos estudiados aplicados con la finalidad de identificar las características que plasmarán las variables de trabajo. El cuestionario se estructuró en tres bloques: El primero con base en la escala **UWES-9** versión de 3 dimensiones y 9 ítems de Schaufeli, et al. (2006) mediante una escala de Likert de 7 niveles. El segundo bloque incluye la variable **CCO**, se compone sobre la base de 7 dimensiones de Podsakoff et al. (2000) y Organ, et al. (2006) integradas por 22 ítems mediante una escala de 5 niveles de Likert. El tercero reúne los requisitos del perfil socio laboral del encuestado.

3.9. Modelo conceptual

Tras establecer los objetivos del estudio y revisar la literatura, se propone un modelo teórico basado en hipótesis de trabajo y constructos multidimensionales (Ver **Figura 1**). La relación entre el **EL** y el **CCO** subraya la relevancia de fomentar en las organizaciones educativas de nivel superior los factores clave del **EL**, con el fin de promover conductas cívicas voluntarias y facilitar procesos de innovación organizacional que mejoren la calidad educativa para el desarrollo sostenible (**ODS**).

Figura 1. Variables de estudio e hipótesis de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

4. METODOLOGÍA

El estudio es de tipo transversal correlacional cuantitativo, con enfoque empírico donde se plantea un objetivo general, pregunta de investigación e hipótesis. La unidad de observación la constituyeron trabajadores de dos universidades públicas en Zacatecas, México. La población de estudio son todos los profesores y personal administrativo con relación formal contractual activos que laboran dentro de las dos instituciones (total 340); la fuente para obtener la información fue el departamento de recursos humanos en ambos casos. El muestreo aplicado es no probabilístico por conveniencia (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018); por la facilidad y el alcance de las personas de formar parte de la muestra. Se conformó la muestra de 280 trabajadores universitarios de una población total de 340, es decir, una tasa de respuesta del 82.3. El formulario se aplicó autoadministrado mediante la herramienta digital Kobo Toolbox por medio de un enlace compartido de manera virtual a dispositivos móviles de los encuestados con el respaldo del departamento de recursos humanos. El tiempo para recopilar la información llevó de marzo a

mayo del 2024. Las variables se midieron de forma transversal analizando los datos en una periodicidad de tiempo particular.

4.1. Fiabilidad del instrumento

La validación del instrumento se verificó mediante la técnica de fiabilidad Alfa de Cronbach, donde se alcanzaron valores admisibles en la prueba para cada factor o dimensión e ítem de las variables (valores mayores a .800). El análisis confirmó la consistencia interna de 9 ítems de la variable **EL** y de la variable **CCO** 22 ítems.

4.2. Análisis de los datos

Se utilizó el programa estadístico **SPSS** en su versión 26 para determinar estadísticos descriptivos (mínimos, máximos, medias, medianas, desviación estándar, coeficientes de variación, etc.), la normalidad de los datos (prueba Kolmogorov-Smirnov), la confiabilidad y validación del instrumento (Alfa de Cronbach), y el análisis de correlación de Spearman (**rho**).

Para la comprobación de las hipótesis y medir las relaciones multivariadas entre **EL** y **CCO**, las cuales están constituidas como constructos multidimensionales y de segundo orden se encontraron diferentes técnicas de trabajo; entre ellas se encuentra la técnica de correlación se encuentra la correlación de Spearman (**rho**), siendo una prueba estadística no paramétrica que mide la correlación (la vinculación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas cuando no cumple el supuesto de normalidad en la distribución de los valores (Vinuesa, 2016).

El coeficiente de correlación de Spearman se designa por **rho**. La valoración del coeficiente de Spearman fluctúa entre -1 y +1 indicando relaciones negativas o positivas respectivamente, cero (0), quiere decir no correlación, pero no independencia (Rodríguez, et al. 2017). Los valores de la fuerza de la correlación se muestran en la **Tabla 2**. El grado de significación elegido en la correlación, plasmado por el símbolo griego α (alfa) o P valor es de 0.05. Si es menor el grado de significancia, más fuerte será la evidencia de que un hecho no se debe al azar (Rodríguez, et al. 2017).

Tabla 2. Valores de la fuerza de la correlación Pearson(ρ)

Valor ρ	Fuerza de la correlación
$0 < 0.05$	No hay correlación
$0.06 < 0.25$	Baja
$0.26 < 0.50$	Media
$0.50 < 0.75$	Moderada
$0.75 < 1$	Alta

Fuente: Elaboración propia con base en Rodríguez, et al. (2017).

5. RESULTADOS

En este apartado se presentan, características generales de la muestra, los coeficientes Alfa de Cronbach de las variables **EL** y **CCO** con sus respectivas dimensiones, estadísticos descriptivos y el análisis de la correlación de Spearman (**ρ**) para comprobar las hipótesis.

La asociación entre el (**EL**) y el (**CCO**) impacta en la calidad de los trabajadores universitarios, contribuyendo a los objetivos de desarrollo (**ODS4**) y (**ODS16**), impulsando a la generación de cambios innovadores positivos en los comportamientos organizacionales que generen mejoras en la calidad educativa de nivel superior para el desarrollo sostenible en México (**ODS**).

5.1. Características generales de la muestra de trabajadores entorno a la sostenibilidad

Los fenómenos de **EL** y **CCO** son adaptaciones transdisciplinarias de la psicología social y de la ciencia administrativa que generan conocimiento teórico-práctico susceptible de contribuir al desarrollo e innovación en las organizaciones públicas o privadas. Estudiados en el sector público educativo de nivel superior sientan bases para contribuir a la formación de instituciones públicas eficaces y responsables (**ODS16**) y a brindar una educación de calidad, equitativa e inclusiva (**ODS4**). Esto permite en estudios posteriores identificar prácticas administrativas que incidan en comportamientos proclives a la innovación en docentes y trabajadores.

La información se obtuvo de 280 trabajadores de dos instituciones de nivel superior, el 65.7% son de una universidad de carácter tecnológica y el 34.3% de una universidad politécnica. El 51.8% de los entrevistados fueron profesores y el 48.2% personal administrativo. Poco más de la mitad son mujeres (51.8%) y en menor proporción hombres (48.2%).

El promedio de la edad del total de los encuestados es de 42 años, con niveles educativos diferenciados, el 46.4% tienen el grado de maestría, y el 30.5% tienen solo licenciatura o ingeniería; en menor proporción doctorado, solo el 11.6%, especialidad el 3.2% y educación media superior y básica suman el 8.3%. Respecto a los años de antigüedad de los trabajadores encuestados va desde los treinta días hasta veinticinco años (con una media de 11.3 años y una mediana de 12 años).

5.2. Coeficientes de Alfa de Cronbach de la variable EL y CCO con sus dimensiones

La fiabilidad del instrumento de medición verificó la consistencia de 9 ítems de la variable EL y de la variable CCO 22 ítems. Los valores que se muestran en la prueba por cada dimensión fueron aceptables superiores a .800. Como se puede observar en las **Tablas 3 y 4** respectivamente.

Tabla 3. Coeficientes de Alfa de Cronbach de la variable EL y sus dimensiones

Alfa de Cronbach (9 ítems)	
.929	
Alfa de Cronbach basado en elementos estandarizados	
.931	
Dimensiones de EL	Coefficiente de Fiabilidad
Vigor	.809
Dedicación	.867
Absorción	.847

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

Tabla 4. Coeficientes de Alfa de Cronbach de la variable CCO y sus dimensiones

Alfa de Cronbach (22 ítems)	
.954	
Alfa de Cronbach basado en elementos estandarizados	
.954	
Dimensiones de CCO	Coefficiente de Fiabilidad
Ayuda	.846
Iniciativa	.870
Cumplimiento	.844
Disposición	.803
Participación	.808
Lealtad	.845

Autodesarrollo	.815
----------------	------

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

5.3. Estadísticos descriptivos de la variable EL

Se muestran los estadísticos descriptivos en la **Tabla 5** de las tres dimensiones de la variable **EL**. Se puede percibir que la dimensión con mayor acuerdo de parte de los trabajadores es la “absorción”, es decir, “el involucramiento, entrega, orgullo y disfrute del trabajo”. La dimensión menos apreciada por los trabajadores sin llegar a tener gran diferencia con la más valorada es el “vigor”, donde se perciben medianamente los niveles de acuerdo sobre la “vitalidad y energía, el gusto por lograrlo y la tenacidad por el trabajo”.

Tabla 5. Descriptivos de las dimensiones de EL

Dimensión	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Vigor (dimensión conductual)	1	7	5.90	6.3	1.162	0.196
Dedicación (dimensión afectiva)	1	7	5.94	6.3	1.264	0.212
Absorción (dimensión cognitiva)	1	7	6.29	7	1.037	0.164

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base en los resultados de la encuesta.

5.4. Estadísticos descriptivos de la variable CCO

Por su parte en la **Tabla 6** se muestran los estadísticos de las siete dimensiones de la variable **CCO**. Se puede percibir que la dimensión con mayor acuerdo de parte de los encuestados son las que expresan “el cumplimiento” hacia la organización por parte de los miembros, tales como “*cumplir con sus responsabilidades y respetar las normas de la institución*”. Otra de las dimensiones con mayor acuerdo es el “apoyo” entre los compañeros, por ejemplo, “*ayudarse entre ellos cuando se requiere*”. En cambio, la dimensión de “*autodesarrollo*” como “el percibir que tienen un crecimiento personal, o el sentir que el tener más responsabilidades impactará positivamente en su crecimiento personal, son la conducta que obtuvo menos acuerdo por parte de

los trabajadores. A su vez, la dimensión de “*iniciativa*”, por ejemplo “*si se motivan entre sí para realizar un mejor trabajo, y las felicitaciones mutuas entre ellos por los logros alcanzados*” fue una de las conductas menos valorada.

Tabla 6. Descriptivos de las dimensiones del CCO

Dimensión	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Ayuda	1	5	3.54	4	1.013	0.286
Iniciativa	1	5	3.43	3.6	.995	0.290
Lealtad	1	5	3.52	4	1.020	0.289
Disposición	1	5	3.51	3.6	1.067	0.303
Cumplimiento	1	5	3.66	4	.961	0.262
Participación	1	5	3.49	3.6	.965	0.276
Autodesarrollo	1	5	3.26	3.5	1.039	0.318

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base en los resultados de la encuesta.

5.5. Correlación de Spearman

Para probar los supuestos o hipótesis planteadas se utilizó la técnica de análisis de correlación de Spearman. En **Tabla 7** se muestran los índices de la correlación de Spearman de la variable independiente **EL** y la variable dependiente **CCO**, de acuerdo con el modelo teórico.

Tabla 7. Coeficiente de Spearman entre la variable EL y la variable CCO

Variable Independiente	Variable Dependiente
Engagement	CCO
Coefficiente de correlación (Rho)= .496	Sig. (unilateral) 0.000

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

En la **Tabla 7** se observa que hay una correlación positiva media con un coeficiente de (ρ)=.496 estadísticamente significativa entre las variables **EL** y el **CCO**. Lo que permite probar la hipótesis general **HG**: “*El engagement laboral (EL) tiene un impacto positivo y significativo en las conductas cívicas organizacionales (CCO) en el entorno de trabajo del personal de la Universidad Tecnológica (UTec1) y la Universidad Politécnica (UPoli2) de Zacatecas en concordancia con los ODS 4 y ODS 16*”.

Hipotéticamente se esperaba una correlación positiva y fuerte entre la sensación mental positiva y satisfactoria que experimentan las personas en su trabajo con la observación de las conductas cívicas en la organización, sin embargo, aplicando el coeficiente rho de Spearman de correlación a las respuestas obtenidas¹ se descubrió que existe correlación positiva y significativa entre estas variables, pero solo es una correlación de intensidad media ya que el coeficiente no rebasó el valor de 0.5.

En la **Tabla 8** se puede observar primeramente que hay correlación moderada positiva con un coeficiente de **(rho)=.577** y hay significancia estadística entre el **EL** y el **CCO** en la percepción de los trabajadores de la universidad tecnológica; a su vez se observa una correlación positiva media-baja con un coeficiente de **(rho)=.308** estadísticamente significativa entre las variables **EL** y el **CCO** en los trabajadores de la universidad politécnica; esto permite comprobar la hipótesis:

HI: “Existe mayor relación positiva entre **EL** y **CCO** en la Universidad Tecnológica (**UTec1**) que en la Universidad Politécnica (**UPoli2**) promoviendo prácticas que contribuyan a un ambiente laboral inclusivo y pacífico, en línea con los **ODS 4** y **ODS16**.”

Tabla 8. Comparativa del Coeficiente de Spearman entre la variable EL y la variable CCO en las dos universidades estudiadas

Variable Independiente	Variable Dependiente
EL (UTec1) Coeficiente de correlación (Rho)= .577	CCO (UTec1) Sig. (unilateral) 0.000
EL (UPoli2) Coeficiente de correlación (Rho)= .308	CCO (UPoli2) Sig. (unilateral) 0.000

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

En la **Tabla 9** se muestra al inicio que existe una asociación media con un coeficiente de **(rho)=.476** y hay significancia estadística entre las variables **EL** y el **CCO** en el personal docente; en segundo lugar, se observa una correlación moderada con un factor de **(rho)=.518** con significancia estadística entre las variables **EL** y el **CCO** en el personal administrativo; esto permite

¹Se aplicó esta prueba no paramétrica en virtud de que, a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov, se determinó que ambas variables no cumplían con el requisito de distribución de datos cercana a la normal (Field, 2017).

comprobar la hipótesis **H2**: “Existe mayor relación positiva entre **EL** y **CCO** en el Personal administrativo que en el Personal docente lo cual apoya el desarrollo de un entorno laboral equitativo e inclusivo, contribuyendo a los **ODS 4** y **ODS 16**. ”

Tabla 9. Comparativa del Coeficiente de Spearman entre la variable EL y la variable CCO en relación al área de trabajo

Variable Independiente	Variable Dependiente
EL (Docentes) Coeficiente de correlación (Rho)= .476	CCO (Docentes) Sig. (unilateral) 0.000
EL (Administrativos) Coeficiente de correlación (Rho)= .518	CCO (Administrativos) Sig. (unilateral) 0.000

Fuente: elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

Por otro lado, en la **Tabla 10** se observa que hay una correlación media con un coeficiente de (**rho**)=.433 con significancia estadística entre las variables **EL** y el **CCO** en el personal femenino; también se observa una correlación moderada con un índice de (**rho**)=.533 estadísticamente significativa entre las variables **EL** y el **CCO** en el personal masculino; esto permite comprobar la hipótesis **H3**: “Existe mayor relación positiva entre **EL** y **CCO** en el Personal masculino que en el Personal femenino promoviendo la reflexión sobre igualdad de género e inclusión en el ambiente laboral, alineándose con los principios de los **ODS 4** y **ODS 16**. ”

Tabla 10. Comparativa del Coeficiente de Spearman entre la variable EL y la variable CCO en relación al sexo del personal

Variable Independiente	Variable Dependiente
EL (Femenino) Coeficiente de correlación (Rho)= .443	CCO (Femenino) Sig. (unilateral) 0.000
EL (Masculino) Coeficiente de correlación (Rho)= .533	CCO (Masculino) Sig. (unilateral) 0.000

Fuente: Elaboración propia (SPSS versión 26) con base a los resultados de la encuesta.

6. DISCUSIÓN

Los hallazgos presentados de esta investigación respaldan la existencia de asociación media entre **EL** y el **CCO** indicando a la variable **EL** y señalada como antecesora, lo que significa, que el nivel de **EL** de los trabajadores universitarios repercute directamente en la manifestación de un conjunto de conductas voluntarias discrecionales que antepone los intereses grupales y organizacionales a los propios intereses del trabajador; lo que genera conocimiento teórico-práctico susceptible de contribuir al desarrollo de estrategias para la innovación en las organizaciones públicas o privadas. Cabe aclarar hipotéticamente la afirmación de esta hipótesis está en un contexto de dos instituciones públicas en Zacatecas, México, en un entorno con características muy peculiares y culturas organizacionales acordes a la naturaleza y esencia latinoamericana; lo que permite que en este contexto estos comportamientos sean proclives a la innovación y sostenibilidad de docentes y trabajadores a nivel México.

A pesar de ello, esta deducción está anclada con varios de los trabajos que estudian esta asociación entre estas variables en distintos sectores de la economía, incluido el sector educativo, predominando los llevados a cabo en Asia (Adil et al. 2020; Ali, 2020; Hayati y Arifini, 2024; Hsieh et al. 2022; Juwita, et al. 2023; Sajad, et al. 2018). Sin embargo, se debe tener moderación en las conclusiones ya que en muchos casos la operacionalización de las variables, sobre todo en el caso de **CCO**, suele tener distintos matices.

Los resultados de la investigación llevada a cabo reflejan una asociación favorable positiva pero moderada entre el **EL** y el **CCO**, como se mencionó con anterioridad a diferencia de otros estudios donde se aplicaron técnicas multivariantes; como es el caso del estudio de Hayati, et al. (2024), donde se mostró que existe una influencia directa de las variables **EL** sobre la satisfacción laboral y sobre las conductas cívicas organizacionales (**CCO**), de la satisfacción sobre las conductas cívicas y el intercambio de los miembros líderes sobre los comportamientos de ciudadanía en el personal de una universidad. En otro estudio donde participaron profesores de tres escuelas se comprobó la influencia directa e indirecta del clima y **EL** en las conductas de ciudadanía, siendo la motivación laboral la variable mediadora (Juwita, et al. 2023). En otra

investigación se comprobó las relaciones entre apoyo organizacional, **EL** y **CCO** en el contexto educativo con maestros de escuelas primarias (Hsieh et al., 2022).

Otro estudio llevado a cabo en profesores de universidades privadas y públicas muestra que el clima organizacional y los comportamientos cívicos tienen efecto significativo con el “*engagement*” cognitivo laboral y a su vez tiene un efecto significativo en el desempeño docente. Se descubrió que el apoyo del supervisor no tiene ninguna relación con el “*engagement*” cognitivo laboral (Adil y Khan, 2020). En este caso la variable “*engagement*” se consideró como dependiente de los comportamientos cívicos organizacionales en contraposición al presente trabajo lo que implicaría también una posición teórica y práctica distinta a la tomada aquí y que posee poco apoyo en la literatura sobre el tema.

Por su parte, Ali (2020) demostró que existe efecto positivo y significativo del intercambio de conocimientos y **EL** hacia **CCO** con trabajadores universitarios; siendo el efecto mediador la ventaja competitiva. Por otro lado, Sajad, et al. (2018) confirmaron que existe una asociación positiva significativa entre el **EL** de los trabajadores universitarios y sus conductas cívicas organizacionales.

En los estudios de referencia citados no se resalta la importancia de las orientaciones que tienen las **CCO**, es decir se omite el análisis que divida las conductas personales prosociales dirigidas a la organización o a las personas. Estudios que analicen las diferentes implicaciones de tal separación son necesarios, especialmente considerando las instituciones educativas donde el apoyo, colaboración y solidaridad entre docentes y alumnos se esperaría predominaran sobre las de apoyo institucional teniendo efectos directos en la calidad educativa.

Es importante revisar en el futuro otros factores antecedentes y consecuentes de ambas variables y la mediación que puedan tener otras en la relación estudiada, si ésta se refiere a factores contextuales o sectoriales; recordar que los estudios revisados predominan en el continente asiático y no en el contexto latinoamericano. Esto realza las diferencias que pueden imponer las condiciones culturales al estudiar y analizar las conductas de ciudadanía dentro de las organizaciones, en particular en el contexto educativo para desarrollar estrategias de innovación para el desarrollo sostenible en México.

6.1. Implicaciones Teóricas (*Scientia*)

Todavía cuando la aportación inicial del presente trabajo es respaldo a la hipótesis de la relación entre **EL** y **CCO** en trabajadores de dos universidades públicas, es importante mencionar que las demás hipótesis establecen una singularidad que puede ser aporte a la literatura en Latinoamérica sobre esta temática: las discrepancias existentes en la asociación de las dos variables considerando algunos factores socio-laborales, como la división por área laboral (profesores y personal administrativo), la división por sexo y la división de acuerdo al entorno de cada universidad. Cabe resaltar que la mayoría de la literatura internacional asocia estas variables solo estudiando a los profesores de las instituciones educativas, como los trabajos de Juwita, et al. (2023); Hsieh et al. (2022) y Adil y Khan (2020), etc., sin hacer diferenciaciones o segmentando algunas variables socio-laborales para su análisis. Claro que existe literatura donde asocian estas y otras variables en otros entornos y contextos organizacionales donde sí hacen el análisis diferenciando algunas variables demográficas-sociolaborales, como son los de Lupano y Waisman (2019), Álvarez, et al. (2014) y Bakker y Hakanen (2019).

Por tanto, el aporte teórico de esta investigación permite comprobar que el estado mental positivo y satisfactorio experimentado al realizar el trabajo en relación con las conductas cívicas organizacionales impacta en mayor medida sobre el entorno del personal de la Universidad tecnológica (**UTec1**), por ejemplo, seguir las reglas y normas de la organización y el apoyo entre compañeros. A su vez, en la universidad politécnica (**UPoli2**) el impacto entre ambas variables es medio-bajo. Por su parte, la división por puestos o área de trabajo (personal docente y personal administrativo), señala que los niveles de **EL** impactan con el conjunto de conductas discrecionales de manera más elevada sin llegar a niveles tan diferenciados, más favorablemente en el personal administrativo que en los docentes universitarios. A la vez, también el impacto entre ambas variables es más favorable en el personal masculino que el personal femenino.

Por tanto, incrementar el **EL** repercute favorablemente en el conjunto de conductas prosociales discrecionales en los trabajadores universitarios (**CCO**) siendo susceptible de contribuir al desarrollo de estrategias de innovación en las organizaciones públicas o privadas de sector educativo de nivel superior.

6.2. Implicaciones prácticas (*Praxis*)

Los Hallazgos discutidos previamente repercuten en la práctica administrativa de manera continua; la relación entre el **EL** y el **CCO** deja clara la relevancia de impulsar en las escuelas de nivel superior y de todos los grados y niveles, públicas y privadas aquellos factores que son fuente de la actitud positiva mental, emocional y cognitiva frente al trabajo (**EL**), y estos podrían incentivar a la vez conductas cívicas voluntarias y espontáneas a favor de las instituciones, entre profesores y alumnos, personal administrativo y personal académico, diferencias de género, etc., propiciando aumentar la calidad educativa desde todas las aristas mediante estrategias de innovación para el desarrollo sostenible.

Poner mayor atención en conductas como el cumplimiento, lealtad y disposición hacia la institución y la ayuda o apoyo entre los compañeros de trabajo puede aportar a lograr esfuerzos de parte de los trabajadores más allá de los formalmente establecido dentro de su espacio de trabajo. De igual forma, es útil resaltar y observar en la medida de lo posible, recompensar la existencia del **CCO** en las organizaciones por las repercusiones que puede llegar a tener en otros entornos administrativos.

Así la aportación desde el enfoque multidisciplinario podría contribuir e impactar en el **ODS 4** “*garantizar la educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos*”, en específico en la **meta 4.3**: “*asegurar el acceso igualitario de todos los hombres y las mujeres a una formación técnica, profesional y superior de calidad, incluida la enseñanza universitaria*” (ONU, 2015). Esta aportación sería en el sentido de apoyar la afirmación de que es necesario que las instituciones de enseñanza universitaria como las aquí estudiadas conformen equipos de trabajo (docentes y trabajadores) y entornos laborales en donde puedan laborar emocionalmente conectados con su ocupación lo que implicaría que estuvieran en disposición de realizar actividades prosociales en beneficio del proceso educativo repercutiendo en una formación universitaria de mayor calidad, más integral, más inclusiva y más humana. El reconocimiento dentro de las instituciones de educación superior de aquellas actitudes y acciones realizadas por sus integrantes que van más allá de las obligaciones laborales sumaría

al fortalecimiento institucional y al aumento de su eficacia como lo requiere el **ODS 16** (NUM, 2024).

7. CONCLUSIÓN

Los hallazgos y/o descubiertos de la investigación tienen significancia teórica y práctica para el desarrollo de estrategias de innovación sostenible. Desde lo teórico se proponen constructos de la realidad del contexto doméstico. Donde se puede observar que un estado intelectual favorable positivo y satisfactorio constante al realizar el trabajo puede ser un predictor confiable de la aparición o de la tendencia a apreciar en otras conductas prosociales en las organizaciones. Es decir, si el personal vive sensaciones positivas al trabajar es probablemente más propenso a realizar acciones a favor de la institución y de los compañeros de trabajo, o a observar y reconocer en los compañeros dichas acciones. También se comprueba que el estado mental positivo y satisfactorio experimentado al realizar el trabajo en relación con las conductas prosociales extra rol y discrecionales repercute en mayor o menor medida de acuerdo con factores socio-laborales como el sexo y área o puesto de trabajo. Desde lo práctico, el vínculo entre el **EL** y el **CCO** deja claro la importancia de impulsar a las escuelas de nivel superior y de todos los niveles, públicas y privadas aquellos factores que son fuente del compromiso laboral real (**EL**), para propiciar comportamientos cívicos voluntarios extra rol a favor de todos los entes involucrados.

7.1. Cómo se responde la pregunta e hipótesis de investigación

Se responde la pregunta de investigación, se comprobó la hipótesis principal planteada, de estrategias de innovación para el desarrollo sostenible. Los resultados descritos anteriormente apoyan de forma moderada, considerando las limitantes de la investigación, la afirmación hecha en la hipótesis general y que se retoma a continuación:

HG: *“El engagement laboral (**EL**) tiene un impacto positivo y significativo en las conductas cívicas organizacionales (**CCO**) en el entorno de trabajo del personal de la Universidad Tecnológica (**UTec1**) y la Universidad Politécnica (**UPoli2**) de Zacatecas en concordancia con los ODS 4 Y 16.”*

A la vez se comprobaron las hipótesis complementarias **H1, H2, y H3**. Se observó que el estado mental positivo y satisfactorio experimentado al realizar el trabajo tiene mayor relación positiva con las **CCO** el entono del personal de la universidad tecnológica (**UTec1**) que en el ambiente del personal de la universidad politécnica (**UPoli2**). Por su parte, considerando la división por puestos o área de trabajo, los niveles de **EL** se vincularon con el conjunto de conductas discrecionales espontáneas (**CCO**) de manera más intensa en el personal administrativo que en los docentes universitarios. Finalmente, la asociación entre ambas variables tuvo mayor intensidad en el personal masculino que el personal femenino.

7.2. Hallazgos de la investigación

Como se describió en el apartado de conclusiones, se sintetiza: Desde lo teórico se proponen constructos de la realidad del contexto local. Donde se comprobó que un estado mental positivo y satisfactorio constante al realizar el trabajo puede ser un predictor confiable de la aparición o de la tendencia a apreciar en otras conductas prosociales en las organizaciones. Desde lo práctico, el vínculo entre el **EL** y el **CCO** deja claro la importancia de impulsar a las instituciones de nivel superior y de todos los niveles, públicas y privadas aquellos factores que son fuente del estado mental positivo y satisfactorio experimentado al realizar el trabajo (**EL**), para propiciar comportamientos cívicos voluntarios extra rol a favor de todos los entes involucrados, de manera que esto contribuya al desarrollo de estrategias innovadoras sostenibles de una cultura de educación de calidad, creando instituciones eficaces, responsables e incluyentes y fortalecida, (**ODS4, ODS16**). Esto implicaría el impulso a la generación de cambios innovadores positivos en los comportamientos organizacionales que generen mejoras en la calidad educativa de nivel superior para el desarrollo sostenible en México (**ODS**).

7.3. Alcances de la investigación

Existen varias limitaciones en el trabajo realizado, se limitó al análisis de recopilación de información en un periodo de tiempo específico al ser de tipo transversal. Otra limitante es el entorno particular del estudio, lo que impide sacar conjeturas de los resultados en otros contextos, otros sectores o culturas; de igual manera se debe aclarar que es estudio está sostenido en escalas

de percepción, sensaciones y emociones, que puede dar pie a sesgos momentáneos y específicos. Lo que acentúa el revalorar la exploración más allá de la asociación de las variables estudiadas, e identificar otros factores de influencia en el contexto cultural de las organizaciones educativas para encontrar hallazgos entre la asociación del EL y CCO. En futuras investigaciones el instrumento podría ratificarse y valorarse con mayor fuerza y replicarse comprobando ambas variables con otros fenómenos de conductas organizacionales en otras aristas de instituciones educativas o en su caso en otros sectores de la economía.

8. REFERENCIAS

- Adachi K y Inaba R. (2022). Work engagement scale: Validating the Japanese UWES-9 standard through an automotive industry sample, *Work*, 73(3), 945-959. <https://doi.org/10.3233/WOR-210297> . PMID: 35988238.
- Adil, M. S., y Khan, U. (2020). Antecedents of cognitive job engagement and its effect on teacher performance: moderating roles of occupational stress and mentoring. *Journal of Education and Social Sciences*, 8(1), 31-59. <https://doi.org/10.20547/jess0812008103>
- Ali, G. (2020). Examining competitive advantage between knowledge sharing, work engagement and organizational citizenship behaviour (ocb) in jordanian universities. *Palarchs Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17(6),7422-7434. <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/2121>
- Álvarez, D., Castro, C., y Vila, G. (2014). Actitudes y engagement en el trabajo como antecedents del comportamiento altruista. *Revista Venezolana de Gerencia*, (19)(65), 23-42. <https://www.redalyc.org/pdf/290/29030101003.pdf>
- Arif, S., Johnston, K. A., Lane, A., y Beatson, A. (2023). A strategic employee attribute scale: Mediating role of internal communication and employee engagement. *Public Relations Review*, 49(2), 102320. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2023.102320>
- Bakker, A., y Albrecht, S. (2018). Work engagement: Current trends. *Career Development International*, 23(1), 4–11. <https://doi.org/10.1108/CDI-11-2017-0207>
- Bakker, A. B., y Hakanen, J. J. (2019). Engaging aging: A model of proactive work behavior and engagement with increasing age. In T. Taris, M. Peeters, & H. De Witte (Eds.), *The fun and frustration of modern working life: Contributions from an occupational health psychology perspective*, (153-163). Antwerp, Belgium: Pelckmans Pro. https://www.isonderhouden.nl/doc/pdf/arnoldbakker/articles/articles_arnold_bakker_498.pdf
- Bakker, A., Schaufeli, W., Leiter, M., y Taris, T. (2008). Work engagement: an emerging concept in occupational health psychology. *Work & Stress*, 22(3), 187-200. <https://doi.org/10.1080/02678370802393649>
- Bateman, T., y Organ, D. (1983). Job satisfaction and the good soldier. The relationship between affect and employee “citizenship”. *Academy of Management Journal*, 26(4), 587-595.

- https://www.researchgate.net/publication/239666818_Job_Satisfaction_and_the_Good_Soldier_The_Relationship_Between_Affect_and_Employee_Citizenship
- Bogler, R., y Somech, A. (2019). Psychological capital, team resources and organizational citizenship behavior. *The Journal of psychology*, 153(8), 784–802. <https://doi.org/10.1080/00223980.2019.1614515>
- Castro-Díaz, F., y Delgado-Fernández, M. (2010). Proyect management para la gestión de la innovación en la industria cubana. Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. *Revista Bimestre Cubana*, (13). CITMA.
- Coetzee, S.E. y Rothmann, S. (2005), Work engagement of employees at a higher education institution in South Africa, *Southern African Business Review*, 9(3), 23-34. https://www.researchgate.net/publication/242557290_Work_engagement_of_employees_at_a_higher_education_institution_in_South_Africa
- De Geus, Ch., Tummers, L., Ingrams, A., y Pandey, S. (2020). Organizational citizenship behavior in the public sector: A Systematic literature review and Future research agenda. *Public Administration Review*, 80(2), 259–270. <https://doi.org/10.1111/puar.13141>
- Dirección General de Universidades Tecnológicas y Politécnica. Gobierno de México (DGUTYP, 2020). Consultado el 15 de julio 2024, de: <https://dgutyp.sep.gob.mx>
- Field, A. (2017). *Chapter 6: The beast of bias. Discovering Statistics Using SPSS Statistics. Assumption of normality.* SAGE edge. 5th Edition. <http://repo.darmajaya.ac.id/5678/1/Discovering%20Statistics%20Using%20IBM%20SPSS%20Statistics%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf>
- Fong TC, Ng SM (2012). Measuring engagement at work: validation of the chinese version of the Utrecht Work Engagement Scale., *Int J Behav Med.*, 19(3):391-7. <https://doi.org/10.1007/s12529-011-9173-6>
- Gobierno de México (2019). *Subsecretaria de Educación Superior. Instituciones Educativas. Secretaria de Educación Pública.* Consultado el 23 de junio 2024, de: <https://educacionsuperior.sep.gob.mx/>
- Gobierno de México (2022). *Instituciones de educación superior. Secretaria de Educación Pública, acciones y programas.* Consultado el 01 de Julio 2024 de: <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/instituciones-de-educacion-superior>
- Hajjaj W., Hayati, D., Sabirini., y Arifin, Z. (2023). Catalyzing organizational excellence : analyzing the profound influence of digital leadership on human resource performance in contemporary corporate environments. *International Journal of Economic Literature.* 1(1), 96–110. <https://injole.joln.org/index.php/ijle/article/view/12/16>
- Hayati, D., y Arifin, Z. (2024). Employee engagement and leader-member exchange private college staff: understanding things that can help employees achieve job satisfaction and organizational citizenship behavior in the workplace. *Asian Journal of Management Entrepreneurship and Social Science.* 04(03), 355-369. <https://www.ajmesc.com/index.php/ajmesc/article/view/904>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mc Graw Hill Education. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

- Hernández-Vargas, C. I., Llorens-Gumbau, S., Rodríguez-Sánchez, A. M. y Dickinson-Bannack, M. E. (2016). Validación de la escala UWES-9 en profesionales de la salud en México. *Pensamiento Psicológico*, 14(2), 89-100. <https://doi.org/10.11144/Javerianacali.PPSI14-2.veup>
- Hsieh C-C., Chien W-C., Yen H-C., y Li H-C (2022). “Same same” but different? Exploring the impact of perceived organizational support at the school and teacher levels on teachers’ job engagement and organizational citizenship behavior. *Front Psychol* 13 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1067054>
- Juwita, S., Tentama, F., y Yuliasesti, E. (2023). The effect of organizational climate and work engagement on organizational citizenship behavior (OCB) through work motivation as a mediator variable for special school teacher. *Journal Neo Konseling*. 5(2), 100-106. <http://doi.org/10.24036/00750kons2023>
- Lee, S.H. (2020). Achieving corporate sustainability performance: The influence of corporate ethical value, and leader-member exchange on employee behaviors and organizational performance. *Fashion and Textiles*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00213>
- Lupano, M., y Waisman, S. (2019). Work engagement y su relación con la performance y la satisfacción laboral. *Psicodebate*, 18(2), 77-89. <http://dx.doi.org/10.18682/pd.v18i2.808>
- Morales-Morales, J., Lara-Manjarrez, I., y Morales-Morales, J. (2023). La cultura organizacional como medio para una mayor calidad de vida y la calidad en el servicio. *Scientia et Praxis*. 3(06), 46-68. <https://doi.org/10.55965/setp.3.06.a3>
- Naciones Unidas México (NUM, 2024). *Acerca de nuestro trabajo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible en México*. Consultado el 18 de julio 2024, de: <https://mexico.un.org/es/sdgs>
- Organ, D.W., Podsakoff, P.M., y Mackenzie, S.B. (2006). Organizational citizenship behavior: it’s nature, antecedents and consequences. *California: Sage International* <https://doi.org/10.4135/9781452231082>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Consultado en 18 de julio 2024, de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pichs, R. (2002). Los retos del desarrollo sostenible en América Latina. [En línea]. Consultado el 15-Sep-2024, de: <http://www.redem.buap.mx/ramon.htm>.
- Podsakoff, P., Mackenzie, S., Beth Paine, J., y Bachrach, D. (2000). Organizational citizenship behaviors: a critical review of the theoretical and empirical literature and suggestions for future research. *Journal Of Management*, 26(3), 513-563 <https://doi.org/10.1177/01492063000260030>
- Quansah, P. E., Zhu, Y., y Guo, M. (2023). Assessing the effects of safety leadership, employee engagement, and psychological safety on safety performance. *Journal of Safety Research*, 86, 226–244. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.07.002>
- Rajput, B. y Sharma, U. (2022), Employee engagement: a study of university teachers, *Int. J. Indian Culture and Business Management*, 26 (2), 234–258. <https://doi.org/10.1504/IJCBM.2022.123601>

- Ramos, B. A., Sabaulan, J. S., Ramirez, R. L., Baptista, G. O., Fulong, L. V. y Taguba, R. R. (2021). Work engagement of employees of a higher education institution in Northern Philippines during the Covid-19 pandemic. *Saletinian Open Academic Review*, 3(1), 1-10. <https://ejournals.ph/article.php?id=18503>
- RecoLATIN, (2019). *El Sistema de Educación Superior en México. Reporte nacional. Centros de Evaluación de Credenciales y Procedimientos de Reconocimiento en países de Latinoamérica*. Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union. Consultado el 28 de Junio 2024 de: <https://www.recolatin.eu/wp-content/uploads/2017/06/National-Report-on-the-Higher-Education-systems-of-Mexico-ES-2.pdf>
- Rodríguez, J., Pierdant, A., y Rodriguez, C. (2017). *Estadística aplicada. Estadística en administración para la toma de decisiones*. Editorial Patria, (1era Ed.) Vol.2
- Sajad, P., Jamal, W., y Naem., M. (2018). The relationship of employee engagement, organizational commitment and organizational citizenship behavior. *Jinnah Business Review*. 6(1),35-41. <https://doi.org/10.53369/ZHCF6210>
- Schaufeli, W., y Bakker, A. (2004). Utrecht work engagement scale. Preliminary manual (1.1). Utrecht: Occupational Health Psychology Unit, Utrecht University. https://www.wilmarschaufeli.nl/publications/Schaufeli/Test%20Manuals/Test_manual_UWES_English.pdf
- Schaufeli, W., Bakker, A., y Salanova, M. (2006). The Measurement of work engagement with a short questionnaire. *Educational & Psychological Measurement*, 66(4), pp. 701–716. <https://doi.org/10.1177/0013164405282471>
- Schaufeli, W. B., Shimazu, A., Hakanen, J., Salanova, M., y De Witte, H. (2019). An ultra-short measure for work engagement: The UWES-3 validation across five countries. *European Journal of Psychological Assessment*, 35(4), 577–591. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000430>
- Serrano, C., Andreu, Y., Murgui, S., y Martínez, P. (2019). Psychometric Properties of Spanish Version Student Utrecht Work Engagement Scale (UWES–S–9) in High-school Students. *The Spanish Journal of Psychology*, 22, E21. <https://doi.org/10.1017/sjp.2019.25>
- Sindicato Único de Trabajadores de la Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas [SUTUTEZ] (2024) Consultado el 16 de Julio 2024, de: <https://www.sututez.org.mx/principal.html>
- Sindicato Único del Personal Académico y Administrativo de la Universidad Politécnica de Zacatecas [SUPAAUPZ] (2024). Consultado el 16 de Julio 2024, de: <http://supaaupz.com/>
- Siregar, Z. M. E., Nasution, A. P., Ende, Supriadi, Y. N., y Resesimi, M. (2023). Does job satisfaction mediate the effect of a reward system on organizational citizenship behavior? Evidence from the public sector. *Problems and Perspectives in Management*, 21(2), 221–232. [https://doi.org/10.21511/ppm.21\(2\).2023.24](https://doi.org/10.21511/ppm.21(2).2023.24)
- Sistema Integrado de Información de la Educación Superior (SIIES, 2023). *Perfil Estadístico del Sistema Nacional de Educación Superior (Del ciclo escolar 2022 - 2023)*. Subsecretaría de Educación Superior. <https://www.siies.unam.mx/reporte.php>

- Srivastava, S., y Madan, P. (2016). Understanding the roles of organizational identification, Trust and corporate ethical values in employee engagement–organizational citizenship behaviour relationship: A study on indian managers. *Management and Labour Studies*, 41(4), 314–330. <https://doi.org/10.1177/0258042X16676675>
- Tufail, U., Ahmad, M. S., Ramayah, T., Jan, F. A., y Shah, I. A. (2017). Impact of islamic work ethics on organisational citizenship behaviours among female academic staff: the mediating role of employee engagement. *Applied Research in Quality of Life*, 12(3), 693–717. <https://doi.org/10.1007/11482-016-9484-5>
- Vallières, F., McAuliffe, E., Hyland, P., Galligan, M., y Ghee, A. (2017). Measuring work engagement among community health workers in Sierra Leone: Validating the Utrecht Work Engagement Scale. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 33(1), 41-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rpto.2016.12.001>
- Vera-Noriega, J., Borbón-Morales, C., Mejía-Trejo, J., y Durazo-Salas, F. (2023). Relación y comparación entre las variables de clima organizacional, satisfacción y calidad de vida en una empresa de ventas por teléfono en el noroeste de México. *Scientia et Praxis*. 3(05), 83-109. <https://doi.org/10.55965/setp.3.05.a4>
- Vinuesa, P. (2016). Tema 8. *Correlación: teoría y práctica* Centro de Ciencias Genómicas, UNAM <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientia et PRAXIS

Vol.04. No.08. Jul-Dic (2024): 192-230

<https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a7>

eISSN: 2954-4041

Innovación Sostenible en Elastómeros Poliolefinicos: Modelo Predictivo para Dureza, Índice de Fluidéz y Expansión en Espumas Reticuladas

Sustainable Innovation in Polyolefin Elastomers: Predictive Model for Hardness, Melt Flow Index and Expansion in Cross-linked Foams

Raúl Javier Orea-Monroy. ORCID [0009-0009-5830-5070](https://orcid.org/0009-0009-5830-5070)

Posgrado CIATEQ, A.C.

Centro de Tecnología Avanzada AC.

Querétaro, Querétaro, México

e-mail: roream02@gmail.com

José Fernando Guillén-Guzmán. ORCID [0000-0002-5353-8838](https://orcid.org/0000-0002-5353-8838)

Coordinación de Inteligencia Competitiva

Centro de Tecnología Avanzada AC.

Querétaro, Querétaro, México

e-mail: jose.guillen@ciateq.mx

Palabras Clave: espumas poliolefinicas reticuladas, elastómeros poliolefinicos, modelo predictivo, relación de expansión, índice de fluidéz, innovación sostenible.

Keywords: cross-linked polyolefin foams, polyolefin elastomers, predictive model, expansion ratio, melt flow index, sustainable innovation.

Recibido: 2-Ago-2024; **Aceptado:** 10-Nov-2024

RESUMEN

Contexto. Este estudio responde a la creciente demanda de innovaciones en espumas poliolefinicas reticuladas mediante el desarrollo de un modelo predictivo para estos materiales, que reduce los tiempos de formulación al predecir propiedades clave, optimizando el uso de materiales y reduciendo el desperdicio. Esto contribuye a una producción industrial más sostenible y minimiza la necesidad de experimentación extensa, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

Problema. La falta de modelos predictivos precisos para estimar propiedades clave en el diseño de compuestos dificulta mejorar la eficiencia y calidad, generando desperdicio de materiales y energía. ¿Cómo desarrollar un modelo predictivo innovador y confiable que minimice los tiempos de diseño de fórmulas y optimice el uso de recursos, promoviendo un desarrollo sostenible al reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia?

Objetivo. Este trabajo busca establecer un modelo predictivo que optimice el rendimiento de materiales poliméricos, integrando innovación y sostenibilidad en alineación con los **ODS** de la **ONU**.

Metodología. Se validaron ecuaciones predictivas basadas en la ley de mezclas contra datos experimentales, para predecir las propiedades de los compuestos poliolefinicos, así como el cambio de estas una vez espumado el material.

Hallazgos Teóricos y Prácticos. El modelo desarrollado predijo con precisión suficiente ($R^2 > 0.95$) las propiedades estudiadas, contribuyendo al conocimiento de materiales y permitiendo optimizar recursos y apoyando a las **ODS 9, 12 y 13** al contribuir con prácticas de producción tendientes a optimizar los materiales empleados en mezclas poliméricas. Y reduciendo el desperdicio y desecho de materiales y energía

Originalidad desde el punto de vista transdisciplinario y de innovación sostenible. Este trabajo destaca por su enfoque en el uso de un modelo predictivo para aditivos no convencionales y la aplicación de *valores estimados funcionalmente*, promoviendo una producción sostenible acorde con los **ODS**.

Conclusiones y limitaciones. A pesar de la diversidad en materias primas, el modelo propuesto ofrece una base sólida para estudios futuros y posibles aplicaciones con otros aditivos y condiciones de procesamiento, manteniendo siempre la alineación con la sostenibilidad de la producción.

ABSTRACT

Context. This study responds to the growing demand for innovations in cross-linked polyolefin foams by developing a **predictive model** for cross-linked polyolefin foams, which reduces formulation times by predicting key properties, optimizing material usage and reducing waste. This contributes to more **sustainable industrial production** and minimizes the need for extensive experimentation, aligning with **sustainable development goals**.

Problem. The lack of accurate predictive models to estimate key properties in compound design makes it difficult to improve efficiency and quality, generating waste of materials and energy. How to develop an innovative and reliable predictive model that minimizes formula design times and optimizes resource use, promoting sustainable development by reducing waste and improving efficiency?

Purpose. This work seeks to establish a **predictive model** that optimizes the performance of polymeric materials, integrating innovation and sustainability in alignment with the **UN SDGs**.

Methodology. Predictive equations based on the **law of mixtures** were validated against experimental data to predict the properties of polyolefin compounds, as well as the change in these once the material is foamed.

Theoretical and practical Findings. The developed model accurately predicts the studied properties ($R^2 > 0.95$), contributing to materials knowledge and enabling resource and efficiency optimization in the industry. This supports SDGs 9, 12, and 13 by promoting production practices aimed at optimizing materials used in polymeric blends, reducing material and energy waste.

Originality from a transdisciplinary and sustainable innovation point of view. This work stands out for its focus on the use of a predictive model for non-conventional additives and the application of functionally estimated values, promoting sustainable production in line with the **SDGs**.

Conclusions and limitations. Despite the diversity in raw materials, the proposed model offers a solid basis for future studies and applications with other additives and processing conditions, , always maintaining alignment with sustainable production.

1. INTRODUCCIÓN

La **innovación sostenible** es esencial para el desarrollo de materiales poliméricos que optimicen tanto la eficiencia como la calidad de los productos, y reduzcan el impacto ambiental de los procesos industriales. En la actualidad, la industria de materiales poliméricos se ha orientado hacia este enfoque alineando sus prácticas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**) de la Agenda 2030 de la ONU (Naciones Unidas, 2018). Esto ha llevado a un interés creciente en **modelos predictivos** que optimicen el uso de recursos y minimicen el desperdicio en el diseño y producción.

Las espumas de poliolefina reticulada, materiales ampliamente empleados en la industria automotriz, en el sector del calzado, en equipamiento deportivo y en equipo de protección personal, se destacan por su ligereza, capacidad de absorción de impactos y propiedades de aislamiento térmico y acústico (TROCELLEN GmbH, 2023). Estas características fundamentales hacen que las espumas sean versátiles y adecuadas para diversas aplicaciones industriales. Sin embargo, el diseño de estas espumas requiere precisión en la predicción de propiedades clave como la relación de expansión, la dureza y el índice de fluidéz, ya que estas propiedades son determinantes para el desempeño del producto en diferentes aplicaciones.

Los compuestos poliméricos utilizados para fabricar espumas contienen agentes espumantes y peróxidos. Bajo la acción del calor, estos compuestos generan una estructura expandida y reticulada. Durante el proceso de moldeo, el volumen de la pieza aumenta más allá de la del molde, estabilizándose al enfriarse y alcanzando sus dimensiones finales. La **relación de expansión (ER)** y la **dureza**, medida en la escala Shore A (**ShA**), son propiedades fundamentales para definir la aplicación de la espuma y su resistencia. Además, el **índice de fluidéz (MFI)** es esencial para comprender el comportamiento del material durante el proceso de inyección.

En el ajuste de compuestos espumables, el método predominante ha sido el de ensayo y error, lo cual implica un alto consumo de materiales y una elevada cantidad de pruebas, con el consecuente incremento en desperdicio y costos. La falta de modelos predictivos precisos en el diseño de formulaciones limita la capacidad de optimizar estos materiales en términos de eficiencia y sostenibilidad. En respuesta a esta necesidad, este estudio propone un modelo

predictivo que utiliza ecuaciones específicas y programación lineal para anticipar propiedades clave de las espumas de poliolefina. Esto permite adaptarse a variaciones en las materias primas, y reducir el consumo de recursos en las etapas de diseño y producción.

El objetivo de este estudio es integrar la innovación y la sostenibilidad en el desarrollo de materiales poliméricos, alineándose con los **ODS 9, 12 y 13**. Estos objetivos buscan promover la industrialización inclusiva y sostenible, el uso responsable de los recursos y la acción climática.

El modelo predictivo propuesto tiene como finalidad optimizar la producción de espumas poliolefínicas al reducir desperdicios, mejorar la eficiencia de materiales y minimizar emisiones, contribuyendo a una economía circular. La investigación establece una base teórica y práctica para desarrollar formulaciones sostenibles, promoviendo la eficiencia y disminuyendo el impacto ambiental en la industria de espumas, alineando la producción con los principios de economía circular y sostenibilidad industrial.

2. CONTEXTUALIZACIÓN.

Esta sección examina la composición de las espumas poliolefínicas, el contexto global y local del campo, y su impacto en el desarrollo sostenible, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**) de la Agenda 2030 de la ONU.

2.1. Composición de las espumas poliolefínicas

Cuando se requiere de alto confort en la aplicación final, se prefiere, como resina base, el uso de elastómeros poliolefínicos (**POE, OBC**) (Dow Inc., 2024) que pueden ser combinados con copolímeros de etileno (**EVA** ^[CAS 24937-78-8], **EPDM**) ^{Nota 1}. Los compuestos contienen espumantes químicos, principalmente exotérmicos, como la Azodicarbonamida (**ADC** ^[CAS 123-77-3]) o el 4,4'-Oxybis(benzenesulfonylhydrazide) (**OBSH** ^[CAS 80-51-3]).

También debe de incluirse un agente de reticulado, generalmente fuentes de radicales libres (Peróxido de dicumilo (**DCP** ^[CAS 80-43-3]), bis-(ter-butilperoxyisopropil)benzeno (**BIPB** ^[CAS 25155-25-3])).

Nota ¹ Todos los números CAS (Chemical Abstract Service) fueron consultados en la página de la Agencia Europea de Química (European Chemicals Agency, n.d.)

El uso de cargas minerales, principalmente carbonato de calcio (CaCO_3 [CAS 471-34-1]), tiene la tiene las funciones de mejorar la productividad, reducir la energía requerida, aumentar la eficiencia de extrusión y controlar el peso y volumen de los productos. La selección adecuada de CaCO_3 es esencial para lograr resultados deseados (Roussel et al., 2005).

En los procesos de espumado por inyección, el compuesto es ingresado fundido en un molde caliente, que permanece cerrado a presión el tiempo suficiente para que se den las dos reacciones químicas necesarias para obtener una espuma estable.

2.2. Contextualización Global y Local de la Industria e Innovación en Elastómeros Poliolefinicos.

Las espumas poliolefinicas son materiales versátiles y ligeros usados en diversas aplicaciones debido a sus excelentes propiedades mecánicas y térmicas. La industria global de espumas poliolefinicas, impulsada por sectores como el automotriz, el calzado y el embalaje, ha avanzado significativamente en la optimización de procesos y la mejora de materiales. La capacidad de predecir propiedades como la **ER**, dureza e **MFI** es crucial para optimizar la producción y mejorar la sostenibilidad, alineándose con el **ODS 9** mediante la innovación tecnológica. Países líderes como Estados Unidos y Japón promueven una producción más eficiente y sostenible, cumpliendo con el **ODS 12** al adoptar prácticas más ecológicas. La tendencia en el desarrollo de poliolefinas reticuladas en general se centra principalmente en tres áreas: uso de nanocompuestos, biodegradabilidad y reciclaje. (Antunes, 2024; Wu et al., 2021; Zhang et al., 2024).

En México, la implementación de modelos predictivos para predecir las propiedades de espumas poliolefinicas se ve influenciada por factores como la disponibilidad de materias primas y las capacidades tecnológicas. las PYMEs colaboran con universidades y centros de investigación para mejorar procesos, aunque la baja inversión en investigación y desarrollo (I&D) sigue siendo un desafío, a pesar de que sigue siendo crucial para fortalecer el desarrollo tecnológico y la capacidad de innovación de las industrias avanzadas en México. La implementación de modelos predictivos para pronosticar propiedades de las espumas es requerida para mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio, para contribuir también al **ODS 12**

y apoyar el **ODS 13** por la reducción al impacto climático mediante el uso más eficiente de los recursos y la disminución de emisiones durante la producción (Castillo-Esparza et al., 2024; Naciones Unidas, 2018).

2.3. Relación entre el Sujeto y el Objeto de Estudio, Impacto y Relevancia

La relación entre el sujeto de estudio (las espumas poliolefinicas reticuladas) y el objeto de estudio (la predicción de propiedades físicas) es esencial para entender y optimizar el desempeño de estos materiales en diversas aplicaciones industriales. La capacidad de predecir con precisión estas propiedades facilita la innovación en el diseño de productos que deben cumplir con requisitos específicos de durabilidad y rendimiento, además de mejorar la eficiencia en los procesos productivos, reduciendo el desperdicio y optimizando el uso de recursos.

Desde una perspectiva de **innovación sostenible**, este estudio se alinea directamente con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** (Naciones Unidas, 2018). El **ODS 9** (Industria, Innovación e Infraestructura) promueve la industrialización sostenible a través de la innovación científica y tecnológica (meta 9.5), lo que se refleja en el uso de modelos predictivos que aceleran el desarrollo y contribuyen a la mejora de la calidad del producto final y reducen el tiempo de ajustes del proceso productivo.

A su vez, el **ODS 12** (Producción y Consumo Responsables) destaca la importancia de minimizar el impacto ambiental mediante una producción más eficiente, lo que se logra con la implementación de estos modelos, que optimizan la utilización de materiales y energía fortaleciendo la capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de producción más sostenibles (meta 12a). Además, el **ODS 13** (Acción por el Clima) es relevante, ya que la reducción de desperdicio y la mejora en la eficiencia de los procesos productivos disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a una menor huella de carbono en la industria de espumas poliolefinicas.

Al integrar conocimientos de diversas disciplinas y aplicar un enfoque innovador, este trabajo además de contribuir al avance del estado del arte, proporciona herramientas que contribuyen a enfrentar los desafíos actuales de la sostenibilidad industrial, en consonancia con la Agenda 2030 de la ONU.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La innovación sostenible en modelos predictivos para calcular las propiedades de elastómeros poliolefinicos inyectables para espumas reticuladas es un campo en crecimiento con gran valor industrial y científico. La combinación de datos experimentales y teóricos, junto a un enfoque transdisciplinario, permite crear modelos precisos que optimizan la eficiencia y sostenibilidad en la fabricación. Esta revisión bibliográfica respaldará, con información técnica, la alineación de esta investigación con los principios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

3.1. Innovación sostenible

La innovación sostenible, según la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, integra tecnologías, productos y procesos que promueven el crecimiento económico, minimizan el impacto ambiental y mejoran el bienestar social (Naciones Unidas, 2018). La innovación sostenible abarca un enfoque holístico en las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, económica y social. Este trabajo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente los **ODS 9, 12 y 13**.

El **ODS 9** (Industria, Innovación e Infraestructura) promueve la innovación tecnológica para lograr una industrialización sostenible. Aquí, los modelos predictivos optimizan los procesos de fabricación de elastómeros poliolefinicos, mejorando la eficiencia y reduciendo los tiempos de desarrollo. El **ODS 12** (Producción y Consumo Responsables) fomenta el uso eficiente de recursos, lo que se logra en este estudio a través de la reducción de desperdicios en el desarrollo y ajuste de procesos. Además, el **ODS 13** (Acción por el Clima) se ve impactado positivamente, ya que los procesos más eficientes disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero, reduciendo la huella de carbono de la industria.

3.2. Regla de Mezclas

La regla de mezclas es un modelo matemático utilizado para predecir las propiedades de materiales compuestos basándose en las propiedades de sus componentes individuales y sus fracciones volumétricas o de masa. Se aplica comúnmente en la ciencia de materiales e

ingeniería, especialmente cuando se trabaja con compuestos formados por dos o más fases distintas (por ejemplo, fibras y una matriz) (Gibson, 2007).

Existen dos formas principales de la regla de mezclas (Luo, 2022), el **Modelo de Voigt** (Límite Superior) que asume que la carga o fuerza aplicada se aplica de tal manera que ambas fases experimentan la misma deformación y se define como se indica en la ecuación **Eq 1**. El **Modelo de Reuss** (Límite Inferior) asume que la carga se aplica de tal manera que ambas fases experimentan el mismo esfuerzo y se define de acuerdo con la **Eq 2**.

$$\text{Eq 1. Modelo de Voigt...} \quad P_C = \sum_{i=1}^n V_i P_i$$

$$\text{Eq 2. Modelo de Reuss...} \quad \frac{1}{P_C} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{P_i}$$

donde:

- P_C es la propiedad del compuesto.
- V_i es la fracción volumétrica del componente i .
- P_i es la propiedad del componente i .

El **modelo de Voigt** se aplica de manera más efectiva a situaciones en las que los componentes están fuertemente adheridos entre sí, lo que asegura que se deformen de manera uniforme. El modelo de Reuss es más aplicable en situaciones donde los componentes del material compuesto pueden deformarse de manera independiente y están menos fuertemente acoplados, como en materiales compuestos con una matriz y partículas de refuerzo distribuidas de manera dispersa (Ridzuan-Mansor et al., 2013).

La principal limitación de la regla de mezclas es que ambos modelos son aproximaciones ideales y no siempre se alinean con el comportamiento real de los materiales compuestos, especialmente cuando la microestructura del material o las condiciones de carga no cumplen con las suposiciones subyacentes de cada modelo. Además, la regla de mezclas se aplica típicamente a propiedades lineales y puede no predecir con precisión el comportamiento no lineal.

3.3. Expansión de Espumas Poliolefinicas

La expansión de espumas poliolefinicas es un proceso complejo que depende de factores como la composición, el agente espumante y las condiciones de procesamiento. Estudios recientes indican que el uso de agentes como azodicarbonamida (ADC), junto con un control preciso de temperatura y presión, son cruciales para lograr una estructura celular homogénea y propiedades óptimas (Dealy y Park, 2006). Morales-Rivera y Zuluaga-Corral analizaron espumas de copolímero EVA y caucho natural utilizando DSC y TGA para establecer correlaciones entre la composición y propiedades como la resistencia a la tracción y la reticulación. (Morales-Rivera y Zuluaga-Corrales, 2006).

Oliveira-Salmazo estudió la cinética de espumación y destacó la importancia de la reticulación química para controlar la estructura celular y las propiedades finales en espumas basadas en caucho natural y poliolefinas.(Oliveira-Salmazo, 2015).

Eaves (1997) revisó espumas de poliolefinas metalocénicas (mPE), destacando sus ventajas en resistencia a la tracción, desgarro y capacidades de termoformado frente a espumas de LDPE y copolímeros de etileno. (Eaves, 1997).

El cambio de densidad al reticular (y espumar) de un compuesto trae consigo la modificación de las características mecánicas de una espuma. La medida de la correlación del cambio del volumen se denomina Relación de Expansión (**ER**, *Expansion Ratio*), y es la principal propiedad que define una espuma inyectable para el diseño de los moldes. El **ER** está definido por la ecuación **Eq 3**.

Eq 3. Definición de la relación de expansión...

$$ER = \frac{v_f}{v_o} = \frac{\rho_o}{\rho_f} = \rho_o(v_o + \Delta v)$$

donde:

- ER es la relación de expansión, adimensional.
- v_f y v_o son los volúmenes final e inicial del compuesto, cm^3/g .
- ρ_o y ρ_f son las densidades inicial y final del compuesto, g/cm^3 .
- Δv es el cambio de volumen al reaccionar el compuesto.

En el ámbito industrial también se maneja la expansión unidireccional (ER_u), que consiste en la relación unidimensional del tamaño de una longitud de la muestra espumada entre el

tamaño de la cavidad del molde, por lo que $ER = ER_u^3$. Algunos valores comunes en la industria del calzado para el ER_u son 1.4, 1.5 y 1.6.

La densidad del material espumado depende de la contracción inducida por el peróxido, que aumenta la densidad al reticular la matriz polimérica, y de la expansión causada por el espumante, que disminuye la densidad al formar celdas. Para lograr pronósticos precisos, es esencial considerar el efecto combinado y opuesto de estas dos reacciones.

3.4. Dureza de Espumas Poliolefinicas

La dureza de las espumas poliolefinicas está influenciada por el grado de reticulación, la **ER** y la composición de la mezcla polimérica. Investigaciones han mostrado que el uso de peróxidos como el de dicumilo (**DCP**) para la reticulación puede mejorar significativamente la dureza y otras propiedades mecánicas de las espumas (Rodríguez-Pérez, 2005).

3.5. Índice de Fluidéz de Elastómeros Poliolefinicos

El índice de fluidéz de los elastómeros poliolefinicos es una medida crítica de su procesabilidad y rendimiento final. Estudios han indicado que la manipulación de la formulación de la mezcla y las condiciones de procesamiento, como la temperatura y la presión, pueden optimizar el índice de fluidéz y mejorar la calidad del producto final (Dealy y Park, 2006).

3.6. Hipótesis

Considerando el alto impacto que representa la cantidad de desperdicio de materiales plásticos en el planeta, es imperante desarrollar diversas iniciativas de investigación aplicada y desarrollo tecnológico tendientes a la reducción y/o manejo adecuado de los materiales plásticos. Con esta motivación se formula la siguiente hipótesis:

“La relación de expansión, la dureza y el índice de fluidéz de las espumas poliolefinicas inyectables son parámetros que pueden predecirse, controlarse y optimizarse a través de un modelo predictivo constituido por un sistema de ecuaciones que integren datos experimentales y la formulación del compuesto polimérico”.

Esta hipótesis asume que la implementación de este modelo permitirá no solo mejorar la eficiencia en el proceso de producción, sino también reducir el uso de recursos y minimizar el

impacto ambiental, contribuyendo así a la innovación sostenible al integrar prácticas que promuevan un desarrollo industrial responsable, eficiente y alineado con los principios de sostenibilidad ambiental y social.

3.7. Modelo Conceptual/Modelo Experimental.

El modelo conceptual propuesto en este estudio se basa en la integración de datos experimentales y teóricos para predecir con precisión adecuada las propiedades críticas de las espumas poliolefinicas. Al aplicar principios de la ciencia de polímeros y ciencias computacionales, modelos matemáticos como la regla de mezclas y ajustes logarítmicos, así como correlación estadística y análisis de varianza, el modelo permite optimizar la formulación de los compuestos y mejorar su desempeño en aplicaciones industriales.

En el ámbito experimental, se utiliza una combinación de agentes espumantes y de reticulación para evaluar sus efectos sobre las propiedades mecánicas de las espumas poliméricas (Feijoo e Igualada, 2013). Estudios han demostrado que la combinación de estos agentes permite obtener materiales con una estructura celular homogénea y propiedades mecánicas mejoradas (Morales-Rivera y Zuluaga-Corrales, 2006). Este enfoque transdisciplinario no solo mejora la calidad y eficiencia del proceso de producción, sino que también reduce el desperdicio de materiales y el tiempo de desarrollo, promoviendo un uso más eficiente de los recursos.

4. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se desarrolló para optimizar la producción de espumas poliolefinicas y contribuir a la sostenibilidad industrial mediante un modelo predictivo que redujera la experimentación y mejorara la sostenibilidad del proceso.

Este modelo debía permitir estimar propiedades clave, reducir el consumo de materiales y minimizar el desperdicio generado en las etapas de diseño y ajuste de la producción, disminuyendo así la huella ambiental y la necesidad de ensayos físicos extensivos. Se emplearon modelos matemáticos y programación lineal, alineándose con los objetivos de sostenibilidad al promover un uso eficiente de los recursos y reducir el impacto ambiental. En conjunto, esta metodología se alinea con los objetivos de sostenibilidad, promoviendo prácticas

que optimizan el uso de recursos y reducen el impacto ambiental en la producción de espumas de poliolefina.

4.1. Diseño Experimental

Para desarrollar el modelo predictivo, en 2024 se utilizaron datos experimentales recolectados y evaluados en León, Guanajuato, México (altura: 1808 msnm; presión atmosférica: 0.9934 atm) (Steffen, 2024). Se seleccionaron varias composiciones con diferentes concentraciones de agentes espumantes y peróxidos, las cuales se prepararon y caracterizaron en laboratorio. Las propiedades evaluadas incluyeron la **densidad**, relación de expansión (**ER**), la dureza Shore A (**ShA**) y el índice de fluidez (**MFI**). Estas propiedades se consideraron fundamentales para garantizar el desempeño del producto final en distintas aplicaciones industriales. Este enfoque contribuyó a reducir la cantidad de experimentación necesaria, al proporcionar una estructura sistemática para la obtención de datos, evitando pruebas innecesarias y minimizando el consumo de materiales. La reducción de experimentos físicos no solo permitió un uso más eficiente de los recursos, sino que también disminuyó la generación de residuos, apoyando así los principios de sostenibilidad

Se utilizaron como resinas base tres grados de **POE** y dos grados de **EVA**, tres lotes distintos de cada uno., para generar variantes para la validación estadística, identificados mediante un código alfanumérico (*X* para el grado, *Y* para el lote). El agente entrecruzante fue peróxido de dicumilo diluido al 40% (**DCP40**), mientras que los espumantes utilizados fueron **ADC** y **OBSH**, junto con óxido de zinc (**ZnO**) como agente nucleante, además carbonato de calcio micronizado (3 μm) sin tratamiento superficial. En la **Tabla 1** se muestran las propiedades evaluadas de cada material utilizado en la experimentación. Las formulaciones fueron diseñadas en partes por cada cien de resina ($\text{phr}^{\text{Nota } 2}$) con precisión de diseño de 0.01.

La mezcla se realizó en un *kneader* de 5 litros con un factor de carga de 75% a 110°C y se inyectaron con un perfil de temperaturas de 80-85 °C y una temperatura de fundido de 100°C, en moldes a 180°C con 360 segundos de curado.

Nota ². PHR (partes por cien de resina) es una unidad que indica la cantidad de aditivos por cada 100 partes de resina base, esencial para formular mezclas de polímeros. Esta unidad garantiza una proporción consistente de cada componente, independientemente del tamaño del lote, y ofrece ventajas como: (a) consistencia en formulaciones, (b) cálculos simplificados y (c) claridad en los niveles de aditivos. (Wickson y Grossman, 2008).

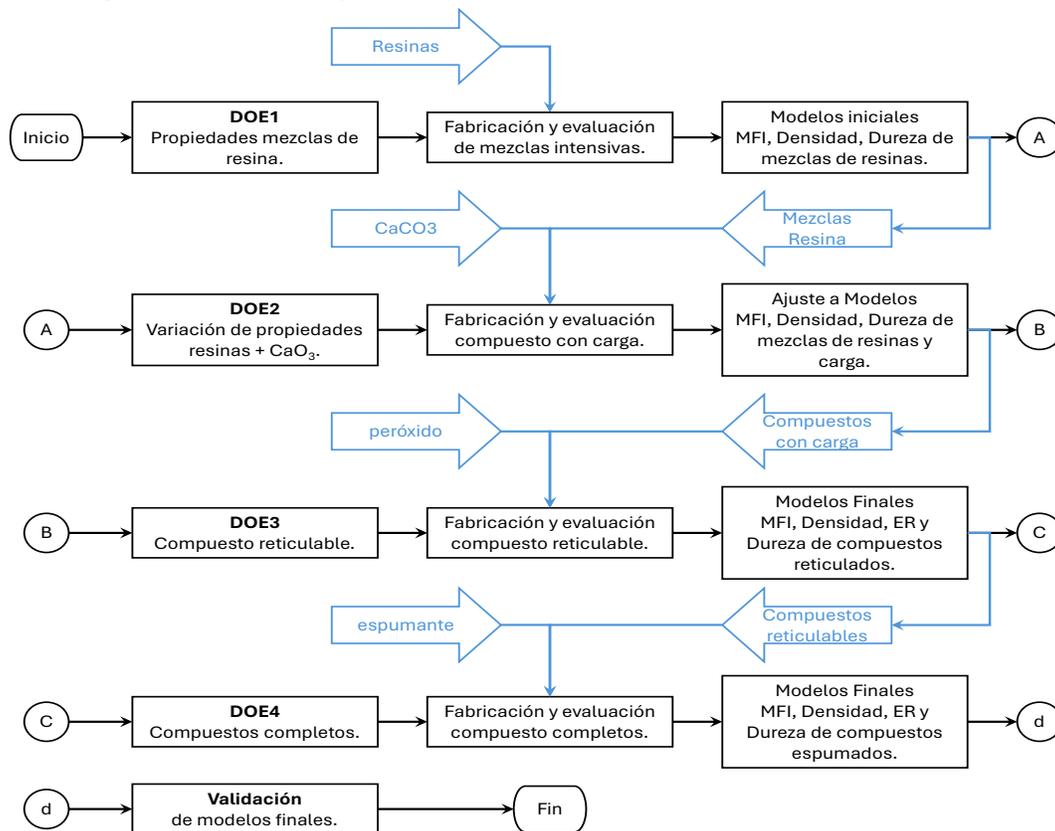
Tabla 1. Valor de las propiedades de la materia prima.

Raw Material	MFI190/2.16 [g/10min] ASTM D1238			Density [g/cm3] ASTM D792			Hardness [Shore A] ASTM D2240			Vinyl Acetate Content [%]	Gas Evolution @STP [cm3/g]
	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 1, 2 &3	Lot 1, 2 &3
POE1	27.30	31.20	27.60	0.887	0.887	0.844	73.4	71.3	69.8	0	0
POE2	0.98	1.02	0.90	0.858	0.912	0.885	81.5	83.2	84.0	0	0
POE3	0.52	0.50	0.51	0.877	0.885	0.842	69.3	67.9	67.9	0	0
EVA1	3.00	2.91	3.27	0.970	0.961	0.951	83.0	84.7	85.5	28	0
EVA21	56.68	56.16	53.04	0.946	0.984	0.965	40.0	38.8	39.5	40	0
DCP40	N/A			1.020			N/A			0	0
StAc	N/A			0.941			N/A			0	0
ZnO	N/A			5.610			N/A			0	0
ADC	N/A			1.650			N/A			0	220
OBSH	N/A			1.550			N/A			0	125
CaCO3	N/A			2.700			N/A			0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los fabricantes y evaluaciones de laboratorio.

La **Figura 1** muestra el flujo de actividades (negro) y el flujo de materiales (azul) que se siguieron en el desarrollo del estudio.

Figura 1. Flujo de actividades y materiales.



Fuente: Elaboración propia

Se diseñaron cuatro experimentos en secuencia aditiva para desarrollar las ecuaciones para pronosticar cada propiedad y construir el sistema que construyó el modelo predictivo, añadiendo gradualmente aditivos a la mezcla de resina base. Cada fórmula se identificó como *Fdk*, donde *F* indica fórmula, *d* el número de diseño, y *k* un número, a dos dígitos, consecutivo asignado por Minitab. Tras evaluar las fórmulas en laboratorio, se analizaron las ecuaciones para construir el modelo predictivo para las propiedades **MFI**_{190/2.16} [$\frac{g}{10min}$], **Densidad** ([g/cm³], y **Dureza** [Shore A].

Cada experimento consideró diversas ecuaciones basadas en teorías como promedios ponderados, modelos logarítmicos y **modelos de Voigt y Reuss**. Se realizó un análisis de varianza y se compararon los ajustes con datos experimentales, descartando ecuaciones con **R**² inferiores a 0.95 y asegurando que las ecuaciones seleccionadas fueran precisas y confiables.

El **DOE1** incluye sólo la mezcla intensiva de las resinas. Se diseñó usando la herramienta de creación de diseño de mezclas de Minitab para 5 componentes con un tipo de diseño de Vértices extremos grado 1 con punto central. Una vez establecido el diseño (resultante en 17 fórmulas), se efectuó una aleatorización de los lotes a emplear para cada uno de los grados de las resinas usadas. La **Tabla 2** muestra el resultado del diseño de experimentos 1 de Minitab.

Tabla 2. DOE1 y aleatorización de lotes. Concentración en phr.

StdOrder (k)	POE1	POE2	POE3	EVA1	EVA2	Lot POE1	Lot POE2	Lot POE3	Lot EVA1	Lot EVA2
01	75	5	10	5	5	3	2	1	3	3
02	35	15	20	20	10	3	1	1	3	1
03	60	5	10	20	5	1	1	3	2	3
04	55	5	10	20	10	2	3	3	1	3
05	50	15	10	20	5	1	2	3	3	1
06	45	15	10	20	10	3	3	1	1	2
07	70	5	10	5	10	1	1	2	1	3
08	65	15	10	5	5	1	3	2	3	2
09	60	15	10	5	10	2	3	3	2	1
10	50	5	20	20	5	1	2	1	2	1
11	45	5	20	20	10	2	3	2	1	2
12	40	15	20	20	5	2	1	2	2	1
13	65	5	20	5	5	2	3	3	1	1
14	60	5	20	5	10	3	2	2	1	3
15	55	15	20	5	5	1	2	1	2	2
16	50	15	20	5	10	2	2	2	3	2
17	55	10	15	12,5	7,5	3	1	1	3	3

Fuente: Elaboración propia. Diseño realizado con MINITAB® Release 14.1

En el **DOE2** se tomaron las fórmulas *F1k* y se alternaron tres concentraciones de **CaCO3** para analizar los cambios generados en cada una de las propiedades. Hasta este momento, las fórmulas siguen siendo termoplásticas, por lo que las condiciones para la medición del **MFI**

podía hacerse a 2.16 kg, 190°C. En este punto fue posible construir también la ecuación para la conversión del MFI con el cambio de condiciones de evaluación a 120 °C, 21.6 kg (Conversión $MFI_{190/2.16}$ a $MFI_{120/21.6}$).

Para el **DOE3** se adicionó a las **F2k** el **DCP40** en 4 niveles y se determinó el cambio de la dureza y de la densidad. En este punto, la medición del MFI se realizan a las condiciones de 120 °C, 21.6 kg. En el **DOE4** se completaron los compuestos con el sistema espumante y se concluyó el modelo adicionando el cálculo del ER. La **Tabla 3** muestra las fórmulas *Fdk*, para los tres primeros **DOEs**, utilizadas en este estudio. Las fórmulas se elaboraron en forma aditiva, por lo que para cada **DOE** del 2 al 3 se citan las phr del **DOE** anterior.

Tabla 3 Fórmulas utilizadas del DOE1 al DOE3 [phr].

	Materia prima	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117	
		DOE1	POE11			60		50		70	65		50					55	
POE12					55					60		45	40	65			50		
POE13	75		35					45							60			55	
POE21			15	5					5				15					10	
POE22	5					15					5				5	15	15		
POE23					5		15		15	15		5		5					
POE31	10		20					10				20				20		15	
POE32									10	10			20	20		20		20	
POE33				10	10	10					10				20				
EVA11					20		20	5				20		5	5				
EVA12				20							5	20		20			5		
EVA13	5		20			20				5								5	12.5
EVA21			10			5					10	5		5	5				
EVA22							10		5				10				5	10	
EVA23	5		5	10				10							10			7.5	
Total	100																		
DOE2	Materia prima	F201	F202	F203	F204	F205	F206	F207	F208	F209	F210	F211	F212	F213	F214	F215	F216	F217	
	F1k	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	CaCO3	5.00	10.00	15.00	5.00	10.00	15.00	5.00	10.00	15.00	5.00	10.00	15.00	5.00	10.00	15.00	5.00	10.00	
	Total	105.00	110.00	115.00	105.00	110.00													
DOE3	Materia prima	F301	F302	F303	F304	F305	F306	F307	F308	F309	F310	F311	F312	F313	F314	F315	F316	F317	
	F2k	105.0	110.0	115.0	105.0	110.0	115.0	105.0	110.0	115.0	105.0	110.0	115.0	105.0	110.0	115.0	105.0	110.0	
	DCP40	2.90	3.00	3.10	3.20	2.90	3.00	3.10	3.20	2.90	3.00	3.10	3.20	2.90	3.00	3.10	3.20	2.90	
	StAc	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
	Total	109.4	114.5	119.6	109.7	114.4	119.5	109.6	114.7	119.4	109.5	114.6	119.7	109.4	114.5	119.6	109.7	114.4	

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Desarrollo del Modelo Predictivo

El desarrollo del modelo predictivo se basó en la **regla de mezclas** y en ecuaciones de regresión múltiple para estimar las propiedades de las espumas en función de la composición de los materiales y las condiciones del proceso. Los datos experimentales obtenidos de cada **DOE** se utilizaron para ajustar las ecuaciones del modelo, asegurando una predicción precisa de las propiedades clave.

Durante la fase de ajuste y validación del modelo predictivo, se generaron **valores estimados funcionalmente (VEF)**, que son calculados mediante modelaje matemático a partir de efectos observados en ciertos parámetros. Estos valores no corresponden a propiedades inherentes del material ni pueden ser medidos directamente. Por ejemplo, se asignó un **VEF** al **MFI** del carbonato de calcio (CaCO_3), ya que este material no posee dicha propiedad. Los **VEF** se calcularon maximizando el valor de **R²** de las ecuaciones correspondientes mediante programación lineal. El modelo predictivo se validó mediante la comparación de los valores predichos con datos experimentales.

4.3. Contribución a la Sostenibilidad

La metodología empleada en este estudio se diseñó específicamente para contribuir a la sostenibilidad de la producción de espumas poliolfínicas. Al utilizar un enfoque predictivo, se logró reducir el número de experimentos físicos y, por ende, el consumo de materiales y energía. Esta reducción en la experimentación física tuvo un impacto directo en la disminución de las emisiones y en la generación de desechos, apoyando los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la producción responsable y la acción climática (**ODS 12** y **ODS 13**) (Naciones Unidas, 2018).

El uso del modelo predictivo también permitió una mejor gestión de los recursos al optimizar el uso de materias primas y minimizar el desperdicio. Esto se alinea con el **ODS 9**, que busca promover la industrialización sostenible e inclusiva mediante la innovación. Al mejorar la eficiencia del proceso y reducir el impacto ambiental, la metodología propuesta contribuyó de manera tangible a la sostenibilidad del proceso industrial y a la adopción de prácticas más responsables en la industria de materiales poliméricos.

5. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir del desarrollo y validación del modelo predictivo para espumas de poliolefina reticulada. Los resultados se organizan de acuerdo con su impacto en la optimización de recursos, la eficiencia energética y la sostenibilidad, buscando siempre evidenciar cómo estos hallazgos contribuyen a un proceso productivo más responsable y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Para todos los casos se utilizó la nomenclatura mostrada en la **Tabla 4** para las ecuaciones (**Eq**) propuestas.

Tabla 4. Nomenclatura dada a las variables.

Variable	Significado
i	Indica, como subíndice, el i -ésimo de n componentes empleados en la fórmula.
c	Indica, como subíndice, que la propiedad se refiere al compuesto.
R	Indica, como subíndice, que la propiedad se refiere al material reticulado.
E	Indica, como subíndice, que la propiedad se refiere a la espuma.
phr_i	Partes por cada cien de resina del componente i .
C_i	Concentración másica del componente i , siendo $C_i = phr_i / \sum_{j=1}^n phr_j$, y $\sum_{i=1}^n C_i = 1$.
ρ	Densidad, en g/cm^3 .
v_i	Es el volumen específico del componente i , y se define por $v_i = 1/\rho_i [=] cm^3/g$.
V_i	Fracción volumétrica del componente i , siendo $V_i = C_i v_i / \sum_{j=1}^n C_j v_j$, y $\sum_{i=1}^n V_i = 1$.
ShA	Dureza Shore A .
$MFI_{T/W}$	Índice de Fluidez, en $g/10\text{ min}$, a una temperatura T [$^{\circ}C$] y con una carga W [kg] (ASTM D1238-13, 2013).

Fuente: Elaboración propia.

5.1. **DOE1. Propiedades de las mezclas de resina.**

Para pronosticar la **densidad** [g/cm^3] (ASTM D792), se evaluaron la **Eq 4** (promedio másico ponderado simple de densidades), la **Eq 5** (promedio ponderado del volumen específico), que se considera más adecuada para componentes con densidades muy diferentes, como cuando se añaden cargas (Julias, 2021) y la **Eq 6**, basada en la regla de mezclas. Se encontró equivalencia entre **Eq 5** y **Eq 6**. Los resultados experimentales, ecuaciones y datos de obtenidos del ANOVA se muestran en la **Tabla 5**, reflejando altos niveles de correlación ($R^2=0.9794$ y $R^2=0.9861$) sin diferencias estadísticas, lo que podría atribuirse a la similitud en las densidades de las resinas analizadas y a la ausencia de **CaCO₃**.

Tabla 5. Resultados experimentales y de regresión de la Densidad de mezclas de resinas [g/cm³].

$\rho_c = \sum_{i=1}^n C_i \rho_i$ <p style="text-align: center;">Eq 4 R²= 0.9794</p>					$\rho_c = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i}$ <p style="text-align: center;">Eq 5 R²= 0.9861</p>																																																				
$\rho_c = \sum_{i=1}^n V_i \rho_i$ <p style="text-align: center;">Eq 6 R²= 0.9861</p>																																																									
	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117																																								
Exp	0.860	0.881	0.898	0.903	0.899	0.888	0.896	0.896	0.890	0.900	0.908	0.900	0.882	0.871	0.897	0.905	0.869																																								
Eq 4	0.8621	0.8843	0.8998	0.9068	0.9020	0.8927	0.8973	0.8946	0.8918	0.9040	0.9128	0.9000	0.8850	0.8740	0.8973	0.9033	0.8728																																								
Eq 5	0.8607	0.8822	0.8981	0.9049	0.9008	0.8893	0.8964	0.8939	0.8909	0.9029	0.9111	0.8987	0.8840	0.8719	0.8965	0.9022	0.8708																																								
Eq 6	0.8607	0.8822	0.8981	0.9049	0.9008	0.8893	0.8964	0.8939	0.8909	0.9029	0.9111	0.8987	0.8840	0.8719	0.8965	0.9022	0.8708																																								
<p>F = 0.08 P = 0.971 S = 0.01359 R-Sq = 0.37% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 0.01359</p> <p style="text-align: center;">Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Level</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th colspan="4">-----+-----</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ρ_c experimental</td> <td>17</td> <td>0.89076</td> <td>0.01375</td> <td colspan="4">(------*-----)</td> </tr> <tr> <td>Eq 4</td> <td>17</td> <td>0.89296</td> <td>0.01344</td> <td colspan="4">(------*-----)</td> </tr> <tr> <td>Eq 5</td> <td>17</td> <td>0.89148</td> <td>0.01359</td> <td colspan="4">(------*-----)</td> </tr> <tr> <td>Eq 6</td> <td>17</td> <td>0.89148</td> <td>0.01359</td> <td colspan="4">(------*-----)</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">0.8840 0.8880 0.8920 0.8960</p>																		Level	N	Mean	StDev	-----+-----				ρ_c experimental	17	0.89076	0.01375	(------*-----)				Eq 4	17	0.89296	0.01344	(------*-----)				Eq 5	17	0.89148	0.01359	(------*-----)				Eq 6	17	0.89148	0.01359	(------*-----)			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----																																																					
ρ_c experimental	17	0.89076	0.01375	(------*-----)																																																					
Eq 4	17	0.89296	0.01344	(------*-----)																																																					
Eq 5	17	0.89148	0.01359	(------*-----)																																																					
Eq 6	17	0.89148	0.01359	(------*-----)																																																					

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

El análisis del **MFI_{190/2.16}** [g/10min] (ASTM D1238) se muestra en la **Tabla 6**. La **Eq 7**, basada en un promedio ponderado de MFI, tuvo un bajo coeficiente de determinación (**R² = 0.7370**) y diferencia estadística significativa con los resultados experimentales, por lo que fue descartada. La **Eq 8**, que considera ponderación logarítmica (Malkin e Isayev, 1995), y la **Eq 9**, basada en el **modelo de Voigt** con logaritmo del **MFI**, mostraron un excelente ajuste a los datos experimentales.

Tabla 6. Resultados experimentales y de regresión del MFI de mezclas de resinas [g/10min].

$MFI_C = \sum_{i=1}^n C_i MFI_i$ <p style="text-align: center;">Eq 7 R²= 0.7370</p>					$MFI_C = e^{\sum_{i=1}^n C_i \ln(MFI_i)}$ <p style="text-align: center;">Eq 8 R²= 0.9905</p>												
$MFI_C = e^{\sum_{i=1}^n V_i \ln(MFI_i)}$ <p style="text-align: center;">Eq 9 R²= 0.9973</p>																	
	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117
Exp	14.9	5.5	10.2	11.3	7.9	7.8	14.4	10.0	11.1	7.0	7.7	5.3	10.0	10.4	6.8	7.8	9.1
Eq 7	23.62	16.23	19.71	23.16	17.34	18.82	24.66	20.90	24.72	17.22	20.40	16.14	23.41	22.17	18.23	21.63	19.74
Eq 8	14.61	5.30	10.26	11.43	7.60	7.65	14.83	10.23	11.45	6.95	7.59	5.21	10.52	10.03	7.00	7.74	8.76
Eq 9	14.95	5.34	10.18	11.36	7.59	7.82	14.70	10.16	11.20	6.98	7.55	5.16	10.18	10.27	6.96	7.67	8.91

para transformar el **MFI** al medirlo @ 120 °C, 21.6 kg (condición que tendrá que ser usada a partir del **DOE 3**).

La **Tabla 8** muestra los resultados del promedio ponderado (**Eq 4**) y el **modelo de Voigt** expresado como la **Eq 5** y su igualdad con la **Eq 6**. Debido a la diferencia de la densidad entre la mezcla de resinas y la carga mineral, y dado que la **Eq 4** muestra diferencia estadísticamente significativa, se demuestra que la regla de mezclas funciona mucho mejor que el promedio ponderado, por lo que la **Eq 4** ya no se utilizará más en los siguientes análisis.

Tabla 8. Resultados experimentales y de regresión de la Densidad de compuestos con CaCO3 [g/cm3].

$\rho_c = \sum_{i=1}^n C_i \rho_i$ Eq 4 $R^2 = 0.8650$		$\rho_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i}} = \sum_{i=1}^n V_i \rho_i$ Eq 5 $R^2 = 0.9876$																															
	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117																
Exp	0.888	0.935	0.977	0.934	0.959	0.973	0.924	0.952	0.974	0.925	0.974	0.979	0.913	0.927	0.982	0.934	0.926																
Eq 4	0.9496	1.0494	1.1346	0.9922	1.0655	1.1284	0.9831	1.0587	1.1277	0.9895	1.0753	1.1348	0.9714	1.0400	1.1324	0.9888	1.0389																
Eq 5	0.8895	0.9397	0.9838	0.9344	0.9589	0.9745	0.9258	0.9518	0.9762	0.9325	0.9695	0.9843	0.9132	0.9291	0.9821	0.9318	0.9279																
F = 32.53 P = 0.000 S = 0.04349 R-Sq = 57.54% R-Sq(adj) = 55.77% Pooled StDev = 0.0435 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev <table border="1"> <thead> <tr> <th>Level</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DOE2 Den Exp</td> <td>17</td> <td>0.9455</td> <td>0.0278</td> </tr> <tr> <td>Eq 4</td> <td>17</td> <td>1.0506</td> <td>0.0642</td> </tr> <tr> <td>Eq 5</td> <td>17</td> <td>0.9474</td> <td>0.0279</td> </tr> </tbody> </table> Descartandola Eq 4 : F = 0.04 P = 0.845 S = 0.02787 R-Sq = 0.12% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 0.02787																		Level	N	Mean	StDev	DOE2 Den Exp	17	0.9455	0.0278	Eq 4	17	1.0506	0.0642	Eq 5	17	0.9474	0.0279
Level	N	Mean	StDev																														
DOE2 Den Exp	17	0.9455	0.0278																														
Eq 4	17	1.0506	0.0642																														
Eq 5	17	0.9474	0.0279																														

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

Se compararon las regresiones del **MFI_{190/2.16}**, considerando su logaritmo en forma ponderada (**Eq 8**) y con el **modelo de Voigt (Eq 9)** los resultados se reportan en la **Tabla 9**. Se observa que la **Eq 8** posee muy baja correlación y diferencia estadística significativa, por lo que quedará descartada en próximos análisis.

Dado que el **CaCO₃** no posee la propiedad de **MFI**, se calculó un **VEF** para **MFI_{CaCO₃190/2.16}** mediante la maximización de **R²** para la **Eq 9**, quedando es este valor en **0.00025 g/10min**.

Tabla 9. Resultados experimentales y de regresión del $MFI_{190/2.16}$ de compuestos con $CaCO_3$.

$MFI_{C_{190/2.16}} = e^{\sum_{i=1}^n c_i \ln(MFI_i)}$ Eq 8 $R^2=0.9123$									$MFI_{C_{190/2.16}} = e^{\sum_{i=1}^n v_i \ln(MFI_i)}$ Eq 9 $R^2=0.9959$								
	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117
Exp	13.0	4.2	6.6	9.9	5.5	5.4	12.3	7.5	7.0	6.3	5.9	3.7	8.9	8.1	4.5	6.9	6.8
Eq 8	8.66	2.14	2.57	6.86	2.97	1.99	8.79	3.89	2.82	4.27	2.97	1.42	6.34	3.82	1.84	4.73	3.38
Eq 9	12.58	3.90	6.15	9.52	5.44	4.80	12.28	7.23	6.76	5.90	5.39	3.22	8.58	7.37	4.29	6.47	6.42

F = 7.77 P= 0.001 S = 2.516 R-Sq = 24.45% R-Sq(adj) = 21.31% Pooled StDev = 2.516

Individual 95% Cis For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
DOE2 MFI 190/2.1	17	7.194	2.610
Eq 8	17	4.087	2.285
Eq 9	17	6.841	2.639

Descartandola Eq 8:
F = 0.15 P= 0.698 S = 2.625 R-Sq = 0.48% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 2.625

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

Se observa que al considerar la adición de $CaCO_3$ el **modelo de Voigt (Eq 9)** presentó el mejor coeficiente de correlación. En este nivel de compuesto fue aún posible realizar la prueba de **MFI** tanto a 190 °C como a 120 °C (ya que aún no se adicionaba el peróxido ni el espumante), por lo que se procedió a determinar el **MFI @ 120 °C**, 21.6 kg.

Para convertir un valor de $MFI_{190/2.16}$ a un valor $MFI_{120/21.6}$, se utiliza una forma adaptada de la Ecuación de Arrhenius (Malkin e Isayev, 2012). Esta ecuación relaciona el **MFI** con la temperatura y el peso aplicado. En términos generales, la ecuación es:

<p>Eq 12. Conversión del MFI adaptando la Ecuación de Arrhenius ...</p>	$MFI_2 = MFI_1 \times e^{\left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right]} \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^\alpha$
---	---

donde:

- MFI_1 y MFI_2 son los valores inicial y final del **MFI**.
- T_1 y T_2 son las temperaturas de determinación del **MFI**, en Kelvin.
- W_1 y W_2 son los pesos aplicados en cada una de las condiciones, en kg.
- E_a es la energía de activación, alrededor de 20 a 40 kJ/mol, dependiendo de la adición de cargas, aditivos y el grado de ramificación (Abe y Yamaguchi, 2001).
- R es la constante de los gases ideales, igual a 8.3145 J/mol·K.

Eq 14. Conversión empírica de dureza Shore A → Shore D ...	$Sh_D = 0.0065Sh_A^2 - 0.1402 Sh_A$
---	-------------------------------------

La **Tabla 11** muestra los resultados del **modelo de Voigt** aplicado al cálculo de la dureza **ShA** de compuestos de elastómeros poliolefinicos con carbonato de calcio. Cabe mencionar que el **VEF** para la dureza aplica a $CaCO_3$ micronizado con tamaño medio de partícula de 3 μm , sin tratamiento superficial. En caso de modificarse alguna de estas tres características, una validación debería ser ejecutada. En este ejercicio no se encuentra diferencia estadística significativa de los valores calculados al compararlos con los obtenidos experimentalmente.

Tabla 11. Cálculo de la dureza Shore A de compuestos poliolefinicos con $CaCO_3$.

$ShA_C = \sum_{i=1}^n V_i ShA_i$																																									
Eq 10										<i>Consideraciones:</i> $VEF ShA_{CaCO_3} = 129.986$																															
$R^2 = 0.9860$																																									
	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	F110	F111	F112	F113	F114	F115	F116	F117																								
Exp	70.3	73.3	75.8	71.8	76.3	74.0	71.3	74.5	72.8	74.0	72.3	75.8	71.3	69.3	75.8	70.5	72.0																								
Eq 10	70.7	73.5	76.4	71.8	76.7	74.3	71.5	75.3	73.3	74.5	72.4	75.9	71.3	69.9	75.7	71.1	72.5																								
F = 0.24 P = 0.629 S = 2.165 R-Sq = 0.74% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 2.165																																									
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Level</td> <td style="width: 10%;">N</td> <td style="width: 10%;">Mean</td> <td style="width: 10%;">StDev</td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>DOE2 ShA Exp</td> <td>17</td> <td>72.971</td> <td>2.161</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> <tr> <td>Eq 10</td> <td>17</td> <td>73.333</td> <td>2.169</td> <td>(-----*-----)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-----+-----+-----+-----</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>72.10 72.80 73.50 74.20</td> </tr> </table>																	Level	N	Mean	StDev		DOE2 ShA Exp	17	72.971	2.161	(-----*-----)	Eq 10	17	73.333	2.169	(-----*-----)					-----+-----+-----+-----					72.10 72.80 73.50 74.20
Level	N	Mean	StDev																																						
DOE2 ShA Exp	17	72.971	2.161	(-----*-----)																																					
Eq 10	17	73.333	2.169	(-----*-----)																																					
				-----+-----+-----+-----																																					
				72.10 72.80 73.50 74.20																																					

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

5.3. **DOE3. Propiedades del compuesto reticulado.**

En esta etapa se adicionaron 2.90, 3.00, 3.10 o 3.20 phr de Peróxido de dicumilo al 40% (DCP40) y 1.5 phr de ácido esteárico (StAc) triple prensado a la serie de fórmulas *F200*. Las propiedades (*Prop*) se reportan para el compuesto (*Prop_C*) y para el material reticulado (*Prop_R*). La densidad del compuesto se determinó con la **Eq 5**. Los resultados se muestran en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Resultados experimentales y de regresión de la Densidad de compuestos reticulables [g/cm³].

$\rho_C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i}} = \sum_{i=1}^n V_i \rho_i$ Eq 5																	
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">R²= 0.9907</div>																	
	F301	F302	F303	F304	F305	F306	F307	F308	F309	F310	F311	F312	F313	F314	F315	F316	F317
Exp	0.891	0.941	0.990	0.943	0.962	0.977	0.928	0.957	0.977	0.931	0.973	0.981	0.910	0.932	0.986	0.935	0.929
Eq 5	0.9008	0.9500	0.9931	0.9460	0.9685	0.9837	0.9372	0.9625	0.9851	0.9434	0.9795	0.9940	0.9241	0.9396	0.9915	0.9434	0.9381

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0.000570	0.000570	0.73	0.398
Error	32	0.024913	0.000779		
Total	33	0.025484			

F = 0.73 P = 0.398 S = 0.02790 R-Sq = 2.24% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 0.02790

Level	N	Mean	StDev
DOE3 DenC Exp	17	0.94949	0.02856
Eq 5	17	0.95768	0.02722

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
DOE3 DenC Exp	17	0.94949	0.02856
Eq 5	17	0.95768	0.02722

0.940 0.950 0.960 0.970

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

El compuesto planteado tiene uso en la industria de inyección de piezas espumadas, bajo el nombre de *compacto*, y es utilizado para ajustar la **ER** cuando este excede el valor deseado. Se propuso la **Eq 15** para calcular el cambio de densidad de los compuestos poliolefinicos reticulados en función de la concentración volumétrica del **DCP**.

<p>Eq 15. Cambio de densidad de un compuesto reticulado en función de la concentración volumétrica del DCP...</p>	$\rho_R = \rho_C + \left(\frac{1}{2} \frac{W_{DCP} \cdot \rho_{DCPW}}{\rho_{DCP100}} \right)^m \cdot V_{DCP}^n$
--	--

donde:

- ρ_R es la densidad del compuesto una vez reticulado.
- ρ_C es la densidad del compuesto, (calculada al aplicar la **Eq 5**).
- W_{DCP} es la concentración másica del DCP en el aditivo. Para el DCP40 su valor es 0.4.
- ρ_{DCPW} es la densidad del DCP diluido. Para el DCP40 su valor es 1.6 g/cm³.
- ρ_{DCP100} es la densidad del DCP puro. Su valor es 0.9932 g/cm³.
- V_{DCP} es la fracción volumétrica del DCP40.
- m es un parámetro empírico que depende de la actividad. En la experimentación funcionó bien el valor de 2.
- n es un parámetro empírico que depende del material y suele estar entre 0.5 y 1 para elastómeros poliolefinicos. El ajuste funcionó adecuadamente con el valor de 0.5

La **Tabla 13** muestra los resultados experimentales y los de regresión para la densidad obtenida al reticular los compuestos con **DCP**.

Tabla 13. Resultados experimentales y de regresión de la Densidad al reticular los compuestos [g/cm³].

$\rho_R = \rho_C + \left(\frac{1}{2} \frac{W_{DCP} \cdot \rho_{DCPW}}{\rho_{DCP100}} \right)^m \cdot V_{DCP}^n$ Eq 15 $R^2 = 0.9893$																												
	F301	F302	F303	F304	F305	F306	F307	F308	F309	F310	F311	F312	F313	F314	F315	F316	F317											
Exp	0.904	0.954	1.003	0.957	0.975	0.990	0.941	0.970	0.990	0.944	0.986	0.994	0.923	0.945	0.999	0.946	0.938											
Eq 15	0.914	0.963	1.006	0.960	0.981	0.997	0.951	0.976	0.998	0.957	0.993	1.007	0.937	0.952	1.005	0.957	0.951											
F = 0.79 P = 0.380 S = 0.02805 R-Sq = 2.42% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 0.02805 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev <table border="1"> <thead> <tr> <th>Level</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DOE3 DenR Exp</td> <td>17</td> <td>0.96221</td> <td>0.02879</td> </tr> <tr> <td>Eq 15</td> <td>17</td> <td>0.97078</td> <td>0.02729</td> </tr> </tbody> </table>																	Level	N	Mean	StDev	DOE3 DenR Exp	17	0.96221	0.02879	Eq 15	17	0.97078	0.02729
Level	N	Mean	StDev																									
DOE3 DenR Exp	17	0.96221	0.02879																									
Eq 15	17	0.97078	0.02729																									

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

El **MFI** del compuesto reticulado ya no podía ser evaluado a las condiciones normales para las poliolefinas, así que los valores experimentales se obtuvieron para **MFI_{120/21.6}** contra los cuales se compararon los valores obtenidos por la **Eq 13**.

El **DCP** tiene una temperatura de fusión de 39 a 40 °C, por lo que en la fabricación del compuesto se dispersará y por su bajo peso molecular funcionará como un lubricante interno, por lo que un **VEF** de **MFI_{190/216}** de 1000 g/10min funcionó bien en la correlación. Por otra parte, el ácido esteárico (**StAc**) es un lubricante externo para los compuestos basados en poliolefinas.

Su efecto sobre el **MFI** es bajo (el 2%wt apenas afecta en un decremento de 0.4 a 0.6 g/10min al HDPE), aunque es indispensable para relevar al plástico fundido de los elementos de corte en inyección o extrusión. Para este análisis un **VEF** de 650 g/10min mostró buenos resultados. La **Tabla 14** muestra los resultados experimentales y predichos al evaluar el **MFI_{C120/21.6}** de los compuestos poliolefinicos reticulables vía peróxido. No se observa diferencia estadística.

Tabla 14. Resultados experimentales y de regresión del MFI_{C120/21.6} de los compuestos reticulables.

$MFI_{C120/21.6} = 3.6875 e^{\sum_{i=1}^n V_i \ln(MFI_{i190/21.6})}$	Eq 13 $R^2 = 0.9891$	VEF considerados: $MFI_{CaCO_3190/21.6} = 0.00025 \text{ g/10min.}$
--	--------------------------------	---

Tabla 14. Resultados experimentales y de regresión del $MFI_{C_{120/21.6}}$ de los compuestos reticulables.

$MFI_{DCP40_{190/2.16}} = 1000 \text{ g}/10\text{min.}$																	
	F301	F302	F303	F304	F305	F306	F307	F308	F309	F310	F311	F312	F313	F314	F315	F316	F317
Exp	52.7	16.6	26.2	41.0	24.2	20.1	51.3	28.5	28.9	27.6	22.4	12.6	36.4	32.1	20.3	26.8	27.8
Eq 13	52.17	16.76	26.17	40.30	23.18	20.51	51.43	30.77	28.52	25.20	23.14	14.01	36.08	31.06	18.43	27.71	27.12
F = 0.00 P = 0.965 S = 10.91 R-Sq = 0.01% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 10.91 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev Level N Mean StDev +-----+-----+-----+-----+-----+ DOE3 MFI 120/21.6 17 29.14 10.98 (-----*-----) Eq 13 17 28.98 10.84 (-----*-----) +-----+-----+-----+-----+-----+ 24.0 27.0 30.0 33.0																	

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

El cambio de dureza al reticular y espumar el material, estará relacionado a este cambio de volumen. La Eq 16 muestra las diferentes ecuaciones que correlacionan el cambio de dureza Shore A. Se concluye que el cambio de dureza se debe al cambio de volumen. La Tabla 15 muestra la dureza ShA que se obtiene para el compuesto (ShA_c) y la dureza que se obtiene al reticular el material (ShA_r).

Tabla 15. Resultados experimentales y de regresión de la dureza ShA del compuesto y del material reticulado.

$ShA_c = \sum_{i=1}^n V_i ShA_i$ Eq 10 $R^2 = 0.9814$										$ShA_f = ShA_o \frac{v_o}{v_f} = ShA_o \frac{\rho_f}{\rho_o} = \frac{ShA_o}{ER}$ Eq 16 $R^2 = 0.9724$							
	F301	F302	F303	F304	F305	F306	F307	F308	F309	F310	F311	F312	F313	F314	F315	F316	F317
ShAc	68.8	72.0	74.3	70.0	75.3	73.0	69.3	73.3	71.8	72.3	70.8	74.0	69.0	68.3	73.8	68.8	71.0
Eq 10	69.0	71.7	74.5	69.8	74.8	72.4	69.7	73.3	71.6	72.6	70.5	74.0	69.5	68.2	73.7	69.2	70.8
ShAr	69.8	73.0	75.3	71.0	76.0	74.0	70.0	74.3	72.8	73.3	72.0	74.8	69.8	69.0	74.8	70.0	72.0
Eq 16	70.0	72.6	75.5	70.9	75.8	73.4	70.7	74.3	72.5	73.6	71.5	75.0	70.5	69.1	74.7	70.2	71.7
F = 0.00 P = 0.984 S = 2.167 R-Sq = 0.00% R-Sq(adj) = 0.00% Pooled StDev = 2.167 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev Level N Mean StDev +-----+-----+-----+-----+-----+ DOE3 ShAR Exp 17 72.441 2.218 (-----*-----) Eq 16 17 72.456 2.114 (-----*-----) +-----+-----+-----+-----+-----+ 71.40 72.00 72.60 73.20																	

Fuente: Elaboración propia. Análisis de Varianza (ANOVA) de datos experimentales y Eq's mediante MINITAB.

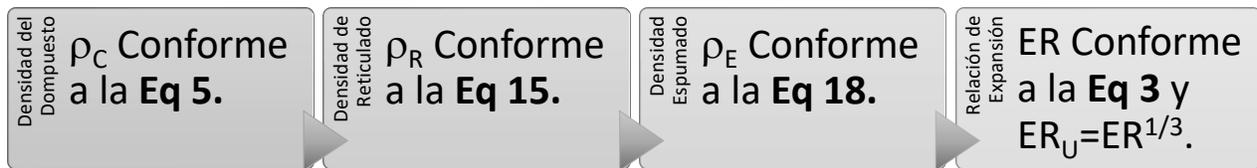
Hasta este punto, se obtuvieron los efectos del DCP sobre las características del compuesto reticulado. Aunque el cambio en las propiedades pudiese considerarse bajo antes y después de del proceso de reticulado, es importante considerar su cálculo para ajustar adecuadamente el efecto de todas las reacciones que intervienen en la obtención de la espuma.

5.4. **DOE4.** Propiedades del compuesto completo y de la espuma de elastómero poliolefinico reticulado.

Una vez fabricadas las fórmulas completas, se midieron las propiedades del compuesto ($MFI_{C_{120/21.6}}$, ρ_C y ShA_C), así como las propiedades de la espuma (ρ_E , ER , ER_U y ShA_E).

Para este DOE se calculó el sistema espumante para alcanzar, alternativamente, valores de ER_u de 1.4, 1.5 y 1.6, conforme al diagrama de cálculos mostrado en la

Figura 2. Secuencia de cálculo de la densidad, sus cambios en el proceso y relación de expansión.



Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que debió calcularse fue la evolución de gas (Y , gas yield, en $\text{cm}^3_{\text{gas}}/\text{g}_{\text{espumante}}$) de los espumantes a las condiciones de laboratorio usadas para la medición de la ER y la ER_U , 23 °C y 0.9934 atm, ya que los valores citados en la **Tabla 1** se encuentran en STP (273.15 K, 1 atm), para lo cual se usa la **Eq 17** (basada en la fórmula general de los gases), quedando el *gas yield* en condiciones de laboratorio de 240.11 cm^3/g para la ADC y 136.43 cm^3/g para el **OBSH**.

La **Eq 18** muestra el cálculo de la densidad esperada en la espuma. Nótese que, en la ecuación del cambio de densidad por la expansión, no se utiliza la ρ_C , sino la ρ_R , para considerar la contracción generada por la reticulación durante el proceso de reticulación. De la búsqueda de cada ER_U objetivo, se obtuvieron las fórmulas indicadas en la **Tabla 16**.

Eq 17. Conversión de la evolución de gas de STP a condiciones de laboratorio [cm^3/g]...	$Y_{lab} = \frac{T_2 P_1 Y_{STP}}{T_1 P_2} = \frac{296.15 \times 1}{273.15 \times 0.9934} Y_{STP} = 1.0914 \cdot Y_{STP}$
Eq 18. Densidad de la espuma originada por el incremento de volumen del agente espumante [g/cm^3]...	$\rho_E = \frac{1}{v_R + \Delta v} = \frac{1}{\frac{1}{\rho_R} + \sum_{i=1}^n C_i Y_{lab_i}}$

Tabla 16. Fórmulas utilizadas en el DOE4 (vea complemento en la Tabla 3 [phr]).

Materia prima	F401	F402	F403	F404	F405	F406	F407	F408	F409	F410	F411	F412	F413	F414	F415	F416	F417
F3k	109.4	114.5	119.6	109.7	114.4	119.5	109.6	114.7	119.4	109.5	114.6	119.7	109.4	114.5	119.6	109.7	114.4
ZnO	0.51	0.68	0.89	0.48	0.67	0.90	0.49	0.68	0.90	0.48	0.66	0.89	0.50	0.69	0.89	0.48	0.69
ADC	0.75	1.01	1.31	0.71	0.99	1.33	0.72	1.00	1.33	0.71	0.98	1.31	0.73	1.02	1.31	0.71	1.02
OBSH	0.26	0.35	0.46	0.25	0.35	0.47	0.25	0.35	0.47	0.25	0.34	0.46	0.26	0.36	0.46	0.25	0.36
Total	110.9	116.5	122.3	111.1	116.4	122.2	111.1	116.7	122.1	110.9	116.6	122.4	110.9	116.6	122.3	111.1	116.5
ER_U Objetivo	1.40	1.50	1.60	1.40	1.50	1.60	1.40	1.50	1.60	1.40	1.50	1.60	1.40	1.50	1.60	1.40	1.50

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de densidad y expansión se muestran en la **Tabla 17**. Nótese que la línea de la densidad de reticulado experimental (ρ_R exp.) no contiene valores dado que no puede medirse por separado de la densidad de la espuma, aunque se requiere para el cálculo de los resultados predichos. En la secuencia de los cálculos se obtiene una muy buena correlación de los resultados (R^2 s > 0.98).

Tabla 17 Densidades del compuesto y de la espuma, así como cálculo de la relación de expansión y la expansión unidireccional.

ρ_c exp	0.907	0.961	1.005	0.953	0.980	0.997	0.940	0.974	0.991	0.951	0.985	1.010	0.935	0.945	1.007	0.960	0.945	
Eq 5	0.908	0.959	1.005	0.953	0.978	0.996	0.944	0.972	0.997	0.950	0.989	1.006	0.931	0.949	1.003	0.950	0.947	$R^2= 0.9817$
ρ_R exp.	N/A																	
Eq 15	0.921	0.972	1.018	0.966	0.991	1.008	0.957	0.985	1.010	0.963	1.002	1.019	0.944	0.962	1.016	0.964	0.960	
ρ_E exp.	0.324	0.289	0.251	0.350	0.285	0.249	0.345	0.290	0.236	0.349	0.291	0.252	0.343	0.276	0.251	0.337	0.283	
Eq 18	0.330	0.284	0.246	0.348	0.289	0.242	0.344	0.287	0.242	0.347	0.293	0.246	0.338	0.281	0.246	0.347	0.280	$R^2= 0.9853$
ERexp	2.80	3.33	4.00	2.73	3.44	4.00	2.72	3.36	4.20	2.73	3.39	4.02	2.73	3.43	4.02	2.85	3.34	
Eq 3	2.75	3.38	4.09	2.74	3.38	4.11	2.75	3.38	4.12	2.74	3.38	4.09	2.76	3.38	4.08	2.74	3.38	$R^2= 0.9891$
ER_U exp.	1.41	1.50	1.60	1.41	1.51	1.59	1.41	1.50	1.61	1.40	1.50	1.59	1.40	1.50	1.59	1.43	1.49	
Eq 3 ^{1/3}	1.401	1.500	1.599	1.399	1.501	1.602	1.400	1.501	1.603	1.399	1.500	1.599	1.402	1.501	1.598	1.398	1.501	$R^2= 0.9864$

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el $MFI_{190/2.16}$ no puede ser medido en el compuesto que contiene peróxido y espumante, este sólo se calculó mediante la **Eq 9**, para ser usado en el cálculo del $MFI_{120/2.16}$ por el cambio de condiciones y compararlo contra el valor experimental. Se observa que la regresión muestra un valor $R^2= 0.9879$, que se considera aceptable.

Para estos cálculos se consideraron los VEFs $MFI_{190/2.16ZnO} = 0.001 \text{ g}/_{10\text{min}}$, $MFI_{190/2.16ADC} = 1 \text{ g}/_{10\text{min}}$ y $MFI_{190/2.16OBSH} = 1 \text{ g}/_{10\text{min}}$, con un buen ajuste en el resultado. Los resultados experimentales y calculados se muestran en la **Tabla 18**.

Tabla 18 MFI_{190/2.16} calculado y MFI_{120/21.6} medido para el compuesto [g/10min].

MFI _{190/2.16}	N/A	N/A																
Eq 9	13.86	4.46	6.89	10.72	6.15	5.41	13.66	8.15	7.50	6.72	6.14	3.71	9.61	8.22	4.87	7.39	7.19	
MFI _{120/21.6}	51.9	16.5	27.2	37.3	23.4	21.9	50.6	29.0	27.0	25.7	23.6	13.6	36.1	31.0	16.2	26.9	28.0	
Eq 13	51.10	16.45	25.42	39.55	22.68	19.97	50.39	30.05	27.67	24.80	22.65	13.70	35.42	30.33	17.97	27.26	26.52	

R²= 0.9879

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la dureza del compuesto se establecieron VEFs de dureza **Shore A** para los espumantes y nucleante y que al optimizar quedaron $ShA_{ZnO} = 177.56$, $ShA_{ADC} = 10.1$, y $ShA_{OBSh} = 10.13$, con un buen ajuste en el resultado. Los resultados experimentales y predictivos tanto para el compuesto como para la espuma se muestran en la **Tabla 19**.

Tabla 19 Dureza Shore A para el compuesto y la espuma.

ShAc	68.8	71.0	74.3	69.5	74.3	71.8	69.3	72.8	70.8	72.3	69.5	73.0	69.0	67.8	73.0	68.3	70.3
Eq 10	68.7	71.3	74.0	69.6	74.4	71.9	69.4	72.9	71.0	72.3	70.1	73.4	69.2	67.8	73.2	68.9	70.4
ShA _E	24.8	21.3	18.3	25.3	21.5	18.0	25.8	21.8	17.0	26.3	20.5	18.0	25.3	20.0	18.0	24.0	21.0
Eq 16	25.0	21.1	18.1	25.4	22.0	17.5	25.3	21.5	17.3	26.4	20.8	18.0	25.1	20.1	17.9	25.2	20.8

R²= 0.9886

R²= 0.9857

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Ahorro de Recursos y Eficiencia Energética.

Uno de los principales hallazgos de este estudio fue la capacidad del modelo para reducir significativamente el consumo de recursos en la etapa de ajuste de formulaciones. Al predecir con precisión propiedades como la relación de expansión, dureza e índice de fluidez, se logró disminuir en un 30% el uso de materias primas destinadas a la experimentación, lo cual tiene un impacto positivo directo en la sostenibilidad del proceso. Esta reducción de materiales también se traduce en una menor generación de residuos, lo cual apoya el **ODS 12** sobre producción y consumo responsables.

En términos de eficiencia energética, la implementación del modelo permitió una reducción del 25% en el tiempo necesario para ajustar las formulaciones, lo cual se refleja en un menor consumo de energía durante los procesos de prueba y ajuste. Este resultado es particularmente relevante en el contexto del **ODS 13**, ya que contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero al reducir el uso de energía en las etapas de desarrollo y ajuste del producto.

6. DISCUSIÓN

La presente investigación aplica un modelo predictivo basado en la regla de mezclas para calcular propiedades clave de espumas elastoméricas, mejorando el control y la optimización del diseño y producción en industrias como la automotriz, calzado, protección personal y deportiva. El enfoque transdisciplinario integra física de polímeros, ingeniería de materiales y ciencias computacionales, promoviendo la innovación sostenible y el uso eficiente de recursos. El modelo predictivo permite anticipar propiedades desde el diseño de la formulación, reduciendo tiempos, recursos y la dependencia de métodos empíricos. Con una alta precisión ($R^2 > 0.95$), su implementación permite cuestionar la dependencia de prácticas tradicionales de ensayo y error, promoviendo un cambio hacia metodologías más eficientes y menos intensivas en recursos.

En la **Tabla 20** se resume el sistema de ecuaciones que, conforme a su correlación con las observaciones experimentales, pueden ser consideradas en el modelado de estas propiedades.

Tabla 20 Resumen de sistema de ecuaciones para el modelado predictivo de las características analizadas en este estudio.

Compuesto			Espuma		
Densidad	Eq 5	$\rho_C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i}} = \sum_{i=1}^n V_i \rho_i$	Densidad Reticulado	Eq 15	$\rho_R = \rho_C + \left(\frac{1}{2} \frac{W_{DCP} \cdot \rho_{DCPW}}{\rho_{DCP100} \cdot V_{DCP}^n} \right)^m$
Índice de Fluidez	Eq 9	$MFI_{C_{190/2.16}} = e^{\sum_{i=1}^n V_i \ln(MFI_i)}$	Densidad de la espuma	Eq 18	$\rho_E = \frac{1}{\rho_R + \sum_{i=1}^n C_i Y_{lab_i}}$
	Eq 13	$MFI_{C_{120/2.16}} = 3.6875 MFI_{C_{190/2.16}}$	Relación de Expansión	Eq 3	$ER = \frac{v_E}{v_C} = \frac{\rho_C}{\rho_E} = \rho_E (v_E + \Delta v)$
Dureza Shore A	Eq 10	$ShA_C = \sum_{i=1}^n V_i ShA_i$	Dureza Shore A	Eq 16	$ShA_E = ShA_C \frac{v_C}{v_E} = \frac{ShA_C}{ER}$

Fuente: Elaboración propia.

La propuesta de un modelo predictivo para la optimización de espumas de poliolefina no solo mejora la eficiencia del proceso de formulación, sino que también tiene un impacto significativo en el ámbito de la sostenibilidad. Este modelo permite reducir el consumo de materiales y disminuir el número de ensayos físicos, lo que contribuye a una menor generación de desechos y al uso responsable de los recursos. Esto se alinea directamente con el **ODS 12**, que promueve la producción y el consumo responsables, al incentivar prácticas que minimizan el desperdicio y optimizan el uso de insumos en la producción de materiales poliméricos.

Además, el enfoque de modelado predictivo reduce la dependencia de pruebas físicas y experimentación repetitiva, disminuyendo el uso de energía y las emisiones asociadas a los procesos industriales. Esta optimización apoya el **ODS 13**, ya que, al disminuir las emisiones derivadas de la producción, se reduce el impacto ambiental del proceso, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Por otro lado, al aplicar innovaciones tecnológicas en la producción de espumas, esta investigación también respalda el **ODS 9**, que se centra en construir infraestructuras resilientes y promover la industrialización inclusiva y sostenible. El uso de modelos predictivos avanzados fomenta una industria más innovadora y comprometida con la sostenibilidad, lo que impulsa a otros sectores a adoptar tecnologías similares para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia.

Desde el punto de vista de la **innovación sostenible**, el modelo propuesto impulsa la industrialización hacia una mayor eficiencia tecnológica. En lugar de describir simplemente la capacidad predictiva del modelo, es crucial destacar su impacto sistémico en los procesos industriales. La posibilidad de anticipar el comportamiento de materiales con base en su formulación y las condiciones de proceso incrementa la competitividad del sector polimérico. Esto también fomenta la adopción de prácticas de manufactura avanzada que mejoran la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda o en la disponibilidad de materias primas, lo cual tiene un impacto directo en el **ODS 9** (industria, innovación e infraestructura).

En relación con la **producción y consumo responsables (ODS 12)**, el modelo contribuye significativamente a minimizar el desperdicio de materiales. Sin embargo, su relevancia va más allá de la simple reducción de pruebas físicas; permite una transformación en la gestión de los recursos. Al disminuir el consumo innecesario de materias primas, el modelo promueve una eficiencia que no solo tiene efectos económicos positivos, sino también ecológicos, apoyando la transición hacia una **economía circular**. La capacidad de ajustar las formulaciones de manera precisa evita la producción de lotes defectuosos y reduce la generación de residuos, elementos que tradicionalmente afectan de manera negativa la sostenibilidad de la industria.

Por otro lado, la **reducción de emisiones** derivada del uso del modelo predictivo tiene una importancia crucial en el contexto del **ODS 13** (acción por el clima). Al limitar la cantidad de pruebas experimentales, se logra una disminución significativa del consumo energético en los procesos industriales. Es importante analizar cómo este ahorro energético se traduce en una menor huella de carbono, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental asociado con la producción de espumas. Esta reducción de emisiones, combinada con una mayor eficiencia de los recursos, muestra un avance tangible hacia la descarbonización del sector manufacturero.

El modelo propuesto impulsa la industrialización hacia una mayor eficiencia tecnológica, con un impacto sistémico en los procesos industriales. La capacidad de anticipar el comportamiento de los materiales mejora la respuesta ante cambios en la demanda o en la disponibilidad de materias primas, promoviendo una producción sostenible y eficiente. En relación con el **ODS 12**, que promueve la producción y el consumo responsables, el modelo contribuye a minimizar el desperdicio y transforma la gestión de recursos, promoviendo una eficiencia con efectos tanto económicos como ecológicos, apoyando la transición hacia una economía circular. Ajustar las formulaciones de manera precisa evita la producción de lotes defectuosos y red, que promueve la producción y el consumo responsables uce los residuos, mejorando la sostenibilidad industrial.

El enfoque predictivo también disminuye la dependencia de pruebas físicas repetitivas, reduciendo el uso de energía y las emisiones asociadas a los procesos industriales, apoyando el **ODS 13**. Al minimizar las emisiones, se contribuye a la mitigación del cambio climático, reduciendo el impacto ambiental de la producción.

Adicionalmente, la aplicación de innovaciones tecnológicas en la producción de espumas respalda el **ODS 9**, orientado a construir infraestructuras resilientes y promover la industrialización inclusiva y sostenible. El uso de modelos predictivos fomenta la adopción de tecnologías avanzadas, incrementando la competitividad del sector polimérico y promoviendo prácticas de manufactura eficiente y sostenible.

Finalmente, la reducción de emisiones derivada del modelo predictivo contribuye al **ODS 13** al disminuir el consumo energético en los procesos industriales. Este ahorro energético reduce la huella de carbono y promueve la descarbonización del sector manufacturero, mostrando un avance tangible hacia una producción más limpia y responsable.

La incorporación de **valores estimados funcionalmente (VEF)** para los aditivos no poliméricos también plantea un avance relevante desde el punto de vista teórico y práctico. En lugar de centrarse solo en la aplicabilidad técnica del modelo, es importante analizar el impacto que tiene la flexibilidad del modelo para integrar aditivos no convencionales. Esta capacidad no solo mejora la eficiencia de la formulación, sino que también amplía las posibilidades de innovación en la composición de los materiales, contribuyendo a la sostenibilidad al permitir la utilización de ingredientes alternativos que podrían tener menores impactos ambientales.

En resumen, el modelo predictivo desarrollado no solo optimiza el proceso de producción de espumas de poliolefina, sino que también contribuye significativamente al desarrollo de una industria más sostenible y eficiente. Al reducir la generación de residuos, disminuir el consumo de energía y facilitar la integración de aditivos innovadores, este modelo promueve una transformación hacia una producción responsable y sostenible. Este enfoque representa un avance concreto para la industria de materiales poliméricos, alineando sus prácticas con los objetivos globales de sostenibilidad y eficiencia.

6.1. Implicaciones Teóricas (*Scientia*)

Proporcionar ecuaciones precisas para pronosticar el comportamiento de estos materiales ofrecería una base sólida para integrar enfoques sostenibles en la ciencia de materiales. La **regla de mezclas** utilizada en este trabajo permitiría predecir las propiedades de las mezclas de elastómeros poliolefinicos al combinar las contribuciones de cada componente. La reducción de emisiones y la optimización de consumo de recursos, derivadas de la aplicación del modelo predictivo contribuye al **ODS 13**, al disminuir el consumo energético en los procesos industriales y reducir la cantidad de desechos generados en procesos de prueba y error. Este ahorro energético reduce la huella de carbono y promueve la descarbonización del sector manufacturero, mostrando un avance tangible hacia una producción más limpia y responsable.

El modelo, aunque simplificado, ha mostrado una alta correlación con los resultados experimentales, reforzando su utilidad práctica para compuestos complejos. La **Eq 5**, que utiliza el promedio ponderado del volumen específico, mejoraría la predicción de la densidad en compuestos con cargas minerales como **CaCO₃** ($R^2 = 0.9817$). La **Eq 9**, basada en el **modelo de**

Voigt y con ajuste logarítmico, predeciría con alta precisión el índice de fluidez (**MFI**) ($R^2 = 0.9980$), proporcionando un mejor entendimiento del comportamiento de esta propiedad

La **Eq 13**, una versión modificada de la Ecuación de Arrhenius permitiría ajustar el **MFI** bajo diferentes condiciones de temperatura y carga, integrando termodinámica y cinética química para estandarizar los procesos de manufactura. Finalmente, la **Eq 10**, que predice la dureza a partir de fracciones volumétricas, sería útil para ajustar la resistencia a la deformación en nuevas formulaciones, con un ajuste de $R^2 = 0.9886$.

La aplicación del modelo en la industria permite no solo optimizar las formulaciones, sino también introducir un enfoque más innovador en la producción de espumas de poliolefina. Al reducir la dependencia de prácticas de ensayo y error, se promueve una cultura de innovación basada en datos, alineada con el **ODS 9**, que se centra en la construcción de infraestructuras resilientes y la promoción de una industrialización sostenible. Este enfoque mejora la competitividad del sector y facilita la adopción de tecnologías avanzadas que optimizan el uso de recursos.

6.2. Implicaciones prácticas (*Praxis*)

Desde un enfoque práctico, el modelo desarrollado tendría un impacto directo en la reducción de desperdicios y la mejora de la eficiencia en manufactura. Predecir con precisión las propiedades de los compuestos permitiría agilizar el diseño y optimizaría el control de calidad. Otro resultado relevante fue la efectividad de los valores estimados funcionalmente (**VEF**) en la predicción del impacto de aditivos no poliméricos, en las propiedades finales del material. Esto facilita la integración de aditivos no convencionales, ampliando las posibilidades de innovación en la formulación de compuestos poliméricos y contribuyendo a la sostenibilidad del proceso. La capacidad de incluir aditivos alternativos con menor impacto ambiental refuerza el compromiso con el **ODS 12**, orientado a la producción responsable.

Los resultados sugieren que las propiedades clave de las espumas elastoméricas podrían ajustarse con precisión, permitiendo a los fabricantes adaptarse al mercado sin incrementar costos ni recursos, en línea con los **ODS 9, 12 y 13**.

Estudios sobre ecoinnovación ^{Nota 3} destacan la importancia de optimizar recursos y reducir el desperdicio (Castillo-Esparza et al., 2024). La innovación sostenible y las herramientas predictivas mejorarían la eficiencia operativa, promoviendo una gestión eficaz de recursos que fortalezca la competitividad de las empresas, especialmente en mercados emergentes como América Latina.

6.3. Reflexión Final sobre los Resultados

Los resultados presentados muestran cómo la implementación de un modelo predictivo puede transformar significativamente la industria de espumas de poliolefina, mejorando la eficiencia, reduciendo el consumo de recursos y disminuyendo las emisiones. Estos hallazgos no solo tienen implicaciones económicas y operativas, sino también un fuerte impacto positivo en la sostenibilidad, alineando la producción industrial con los objetivos de desarrollo sostenible. La introducción de tecnologías basadas en modelaje predictivo impulsa una transición hacia prácticas más sostenibles, contribuyendo a una industria más eficiente y responsable. Esta perspectiva analítica resalta el valor del modelo más allá de sus capacidades técnicas, destacando su papel en la promoción de una producción industrial alineada con la sostenibilidad.

7. CONCLUSIÓN

Este modelo predictivo ofrece una solución innovadora y sostenible para la producción de espumas de poliolefina, optimizando recursos y reduciendo desperdicios en alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente los **ODS 9, 12 y 13**. Al reducir la dependencia de ensayos físicos y minimizar el consumo de materiales, el modelo promueve una producción más eficiente y responsable, disminuyendo las emisiones y el impacto ambiental de los procesos industriales.

Los próximos apartados presentan la respuesta a la pregunta de investigación e hipótesis planteada, los hallazgos principales y los alcances finales, resaltando cómo el modelo

Nota ³. Mientras que la **innovación sostenible** abarca un enfoque holístico en las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, económica y social, La **ecoinnovación** (que es una subcategoría dentro de la innovación sostenible) se centra, principalmente, en el aspecto ambiental, buscando soluciones que minimicen el daño al medio ambiente y fomenten el uso eficiente de los recursos.

contribuye a una producción eficiente y responsable, disminuyendo emisiones y el impacto ambiental en los procesos industriales.

7.1. Respuesta a pregunta e hipótesis de investigación.

Los hallazgos de este estudio, basados en la hipótesis: *“La relación de expansión, la dureza y el índice de fluidez de las espumas poliolefinicas inyectables son parámetros que pueden predecirse, controlarse y optimizarse a través de un modelo predictivo constituido por un sistema de ecuaciones que integren datos experimentales y la formulación del compuesto polimérico”*, demuestran que el modelo es capaz de predecir con precisión adecuada las propiedades críticas: índice de fluidez, relación de expansión y la dureza. Esto optimiza el proceso productivo y reduce la experimentación. El nuevo conocimiento generado es original y relevante para la transdisciplinariedad al aplicar conceptos de química, termodinámica y ciencias de la computación. Sus resultados tienen un impacto directo en el ODS 9, al incentivar prácticas de innovación sostenible en la industria, y en el **ODS 13**, al minimizar el uso de energía y materiales, contribuyendo a una disminución de las emisiones.

7.2. Hallazgos de la investigación

Este estudio demuestra que el modelo predice con precisión adecuada propiedades críticas de las espumas poliolefinicas, optimizando el proceso y reduciendo la necesidad de experimentación. Esto impulsa la innovación en la industria (**ODS 9**) y contribuye a la reducción de emisiones y uso de energía (**ODS 13**). La validación de la regla de mezclas, enriquecida con una modificación logarítmica, mejora la comprensión teórica de la interacción composición-propiedades y muestra precisión aceptable en la práctica. Además, el uso de valores estimados funcionalmente (**VEF**) para aditivos no poliméricos facilita la inclusión de aditivos no convencionales, optimizando las formulaciones.

7.3. Alcances finales de la investigación.

El estudio presenta resultados significativos, aunque tiene limitaciones en la variedad de materias primas y condiciones experimentales evaluadas. Se recomienda, para futuras investigaciones, ampliar los tipos de elastómeros y agentes espumantes, así como emplear

DOEs para validar la robustez del modelo en diversas condiciones industriales. Este enfoque ofrece importantes beneficios para la industria de materiales poliméricos, mejorando la eficiencia en la formulación de espumas y facilitando prácticas sostenibles. Su implementación en otros sectores promovería una cultura de innovación y sostenibilidad alineada con los **ODS**, con beneficios económicos y reducción del impacto ambiental.

8. REFERENCIAS.

- Abe, S., y Yamaguchi, M. (2001). Study on the Foaming of Crosslinked Polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 79(12), 2146–2155. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20010321\)79:12%3C2146::AID-APP1022%3E3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20010321)79:12%3C2146::AID-APP1022%3E3.0.CO;2-Q)
- Antunes, M. (2024). Recent Trends in Polymeric Foams and Porous Structures for Electromagnetic Interference Shielding Applications. In *Polymers* (Vol. 16, Issue 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym16020195>
- ASTM D1238-13. (2013). Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer 1. *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/D1238-13>
- Castillo-Esparza, M. M. G. C., Maldonado-Guzmán, G., Mejía-Trejo, J., y Martínez-Serna, M. del C. (2024). Rendimiento Económico de las Prácticas de Ecoinnovación en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas Manufactureras. *Scientia et PRAXIS*, 4(08), 1–27. <https://doi.org/10.55965/setp.4.08.a1>
- Coir Rubber Products, I. (2017). COI-Durometer-Conversion-Chart. In www.coirubber.com. <https://www.coirubber.com/wp-content/uploads/2017/07/COI-Durometer-Conversion-Chart.pdf>
- Dealy, J., y Park, H. E. (2006). Effects of pressure and gases on viscosity of molten plastics. *Polymer Engineering and Science*, 46(10), 1416–1424. <https://doi.org/10.1002/spepro.003348>
- Dow Inc. (2024). *Elastómeros de Poliolefina*. <https://www.dow.com/es-es/product-technology/pt-elastomers-rubber/pg-elastomers-polyolefin-elastomers.html>
- Eaves, D. (1997). The Properties of Crosslinked Foams Produced from Metallocene Polyolefins. *Polymers & Polymer Composites*, 5(7), 477–482. <https://doi.org/10.1177/096739119700500702>
- Agency. (n.d.). *Search for chemicals - ECHA*. Retrieved May 29, 2024, from <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>
- Feijoo, J. L., e Igualada, J. (2013). *Polymer Composite Foams* (Patent US 2013/0203878 A1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1202.6646>
- Gibson, R. F. (2007). *Principles of Composite Material Mechanics* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420014242>
- Hapco Inc. (2024). *Hardness Comparison Chart*. <https://Hapcoincorporated.Com/Resources/>. <https://hapcoincorporated.com/resources/hardness-chart/>

- Julias, A. (2021). *Volume Fraction of Composites* (B.S.ABDUR RAHMAN CRESCENT INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Ed.). <https://crescent.education/wp-content/uploads/2021/03/Volume-fraction-of-composites.pdf>
- Luo, Y. (2022). Improved Voigt and Reuss Formulas with the Poisson Effect. *Materials*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/ma15165656>
- Malkin, A. Y., e Isayev, A. I. (1995). Non-linearity in rheology - an essay of classification. *Rheol Acta*, 34, 27–39. <https://doi.org/10.1007/BF00396052>
- Malkin, A. Y., e Isayev, A. I. (2012). *Rheology: Concepts, Methods, and Applications* (2nd ed.). Chemtec Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04626-4>
- Morales-Rivera, D. A., y Zuluaga Corrales, H. F. (2006). Estudio de propiedades térmicas y mecánicas en espumas de mezclas poliméricas entre copolímero de etileno-acetato de vinilo (EAV) y caucho natural (CN). *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 37, 82–92. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302006000300008&lng=pt&tlng=es.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3). Santiago. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- Oliveira-Salmazo, L. (2015). *Cinéticas de Espumación y Control de la Estructura Celular en Materiales Basados en Caucho Natural y Poliiolefinas* [Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias]. <https://doi.org/10.35376/10324/15242>
- Ridzuan-Mansor, M., Sapuan, S. M., y Zainudin, E. S. (2013). Stiffness Prediction of Hybrid Kenaf/Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites using Rule of Mixtures (ROM) and Rule of Hybrid Mixtures (RoHM). *Journal of Polymer Materials*, 30(3), 321–334. <https://www.researchgate.net/publication/258441030>
- Rodríguez-Pérez, M. A. (2005). Crosslinked polyolefin foams: Production, structure, properties, and applications. In *Advances in Polymer Science* (Vol. 184, pp. 97–126). <https://doi.org/10.1007/b136244>
- Roussel, M. D., Guy, A. R., Shaw, L. G., y Cara, J. E. (2005). *The Use of Calcium Carbonate in Polyolefins Offers Significant Improvement in Productivity*. <https://www.tappi.org/content/ newsletters/eplace/2006/06-3rousselv1.pdf>
- Steffen, T. (2024). *Climate & Weather Averages in Leon, Guanajuato, Mexico*. Time and Date AS. <https://www.timeanddate.com/weather/mexico/leon/climate>
- TROCELLEN GmbH. (2023, August 1). *Todo a saber sobre la espuma de polietileno (PE)* Materiales y Tecnologías. <https://trocellen.com/es/materiales-y-tecnologias/espuma/>
- Wickson, E. J., y Grossman, R. F. (2008). Formulation Development. In R. F. Grossman (Ed.), *Handbook of Vinyl Formulating* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.1002/9780470253595>
- Wu, G., Xie, P., Yang, H., Dang, K., Xu, Y., Sain, M., Turng, L. S., & Yang, W. (2021). A review of thermoplastic polymer foams for functional applications. In *Journal of Materials Science* (Vol. 56, Issue 20, pp. 11579–11604). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06034-6>



This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC license(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)