



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



Ava Cient

ISSN: EN TRÁMITE

Instituto Tecnológico de Chetumal

Formación Integral, Científica, Tecnológica y Humanista

2023

Año 1

Vol. II

Núm. 2

JULIO - DICIEMBRE

Órgano Informativo de Difusión Científica, Tecnológica, Académica e Innovación



Enfoque y alcance:

La Revista AvaCient editada por el Tecnológico Nacional de México, tiene por interés proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, documentales, tecnológicas y de innovación, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales e informática, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico administrativas, a la docencia y a las ciencias naturales.

El contenido de los artículos es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

La Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2023-052309402000-102. Con ISSN electrónico en trámite. Frecuencia de publicación: semestral. Los artículos se publican en idioma español o en inglés.

AvaCient incluye temáticas multidisciplinarias relacionadas con la ingeniería: bioquímica, civil, eléctrica, sistemas computacionales, tecnologías de la información y comunicaciones, así como los temas relacionados con la arquitectura, biología, a la docencia y las ciencias económico administrativas.

Políticas de selección:

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

Artículo de investigación científica y/o tecnológica. Es un documento en donde el objetivo principal es dar a conocer de manera evidente y concreta los resultados originales de una investigación efectuada sobre un tema específico. Es la culminación de la presentación de un documento elaborado con un pensamiento crítico y analítico, considerando una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de investigación documental. La investigación documental es un proceso científico, sistemático y de búsqueda, recopilación, organización, análisis y compresión de información en torno a un tema específico. Como toda investigación debe de estar orientada a la generación del conocimiento, que implica la descripción y cuantificación de un problema específico, con una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de divulgación. El objetivo primordial de este tipo de documento es hacer llegar información fidedigna sobre cualquier tema en general para el público en común. Esta temática deberá dirigir sus esfuerzos en adaptar el lenguaje especializado a la comunicación coloquial, su extensión no debe exceder 10 cuartillas.

El mismo artículo no debe ser enviado simultáneamente a otras revistas o congresos para su aceptación y/o divulgación impresa, electrónica o por cualquier otro medio.

Para mayores detalles y especificaciones, consultar la **guía para autores 2023**.

Proceso de revisión:

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Tiempo estimado para la evaluación:

Con el objetivo de garantizar un correcto y riguroso proceso de evaluación en cada una de sus fases, se estima un promedio de entrega de dictámenes de 120 días. Se garantiza una comunicación constante y asertiva sobre el envío y avances del proceso editorial. El porcentaje de artículos publicados para 2023 es del 40%.

AvaCient mantiene una convocatoria abierta durante todo el año para la recepción de artículos, con cierres semestrales para la selección de documentos por edición. El(Los) autor(es) entiende(n) que el hecho de someter su artículo a la revista no genera ningún tipo de compromiso de publicación hasta surtir con éxito todo el proceso editorial.

Código de ética:

Véase el apartado respectivo en las siguientes páginas, declaratoria de ética y buenas prácticas, AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidos por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*.

Cuenta con la herramienta para detectar similitud *Turnitin*, con un máximo de similitud del 20%.

El Consejo Editorial se reserva el derecho de realizar cambios o introducir modificaciones en el texto en aras de una mejor presentación y comprensión de éste, sin que de ello derive un cambio de su contenido.

Política de acceso abierto:

La Revista AvaCient es de acceso abierto y no cobra por el envío de los artículos, el proceso editorial y la publicación. Puede ser consultada libremente, sin requerimiento de registro, suscripción o pago. Se permite al autor y a terceros leer, descargar, copiar, reproducir, distribuir, comunicar y crear a partir del artículo, siempre y cuando se atribuya el crédito al (a los) autor(es), se reconozca la publicación inicial en la Revista AvaCient y sea para fines no comerciales. Provee acceso libre a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global.

Contacto:

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Chetumal
Tel: 9838322330, 9838321019
Oficina editorial
Email: avacient@itchetumal.edu.mx
avacient@chetumal.tecnm.mx

Disponible en Internet:

<http://chetumal.tecnm.mx/avacient/index.php/revista/index>

Directorio

Tecnológico Nacional de México
Director General
Mtro. Ramón Jiménez López
Instituto Tecnológico de Chetumal
Director
Mtro. Mario Vicente González Robles
Subdirectora Académica
M.T.I. María de los Ángeles Navarrete Marneou
Subdirectora de Planeación y Vinculación
Lic. Dulce Yolanda Garrido López
Subdirector de Servicios Administrativos
Ing. Rafael Olvera Rodríguez

Consejo Editorial

Subdirectora de Planeación y Vinculación
(TecNM/ITChetumal)
Lic. Dulce Yolanda Garrido López
Jefe del Depto. de Comunicación y Difusión
(TecNM/ITChetumal)
Mtro. José Pedro Villalobos Puga
Jefe del Centro de Información (TecNM/ITChetumal)
Lic. Esteban Magaña Pérez
Jefa de la División de Estudios Profesionales
(TecNM/ITChetumal)
Mtra. Cecilia Loría Tzab
Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
(TecNM/ITChetumal)
Dra. Alicia Carrillo Basto
Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios
(TecNM/ITChetumal)
Ing. Rodrigo Salazar García
Jefe de la oficina Editorial (TecNM/ITChetumal)
Dr. Robert Beltrán López

AVACIENT, Año 1, Vol. II, Núm. 2, julio - diciembre 2023, es una publicación semestral, editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Chetumal, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Contacto: 9838322330, avacient@chetumal.tecnm.mx, www.itchetumal.edu.mx. Editor Responsable: Robert Beltrán López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-052309402000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Comunicación y Difusión, José Luis Moctezuma Tejeda, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Fecha de última modificación 25 de octubre de 2023.

Objetivo de la revista, es proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, tecnológicas, documentales, educativas y de divulgación, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico-administrativas, a la docencia y a las ciencias naturales.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego, cada artículo a evaluar será enviado a dos pares externos, como mínimo, cuando exista división de opinión se consultará un tercero o cuarto revisor.

El contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

AvaCient provee acceso libre inmediato bajo el principio de hacer disponible abiertamente su publicación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global e impide la obsolescencia de su investigación. Sin embargo, cada autor podrá efectuar la gestión de su publicación por iniciativa propia a través de repositorios institucionales, índices, colectivos o temáticos. La revista apoya las iniciativas de acceso abierto.

Queda autorizada la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, a condición de que se cite la fuente completa y se incorpore un enlace <http://chetumal.tecnm.mx/avacient/index.php/revista/index>

AvaCient es una revista científica arbitrada, multidisciplinaria.

Soporte técnico OJS: Mtro. José Luis Moctezuma Tejeda. Cel. 2291521713. jmoctezuma@itchetumal.edu.mx

Corrección y Estilo: C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver.

Créditos de la foto de portada y contraportada:

C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas

AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidos por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*:

Responsabilidades del Comité Editorial

- La descripción de los procesos de revisión por pares es definido y dado a conocer por el Comité Editorial con el fin de que los autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación. El Comité Editorial está siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación.

Responsabilidades del Editor

- El editor se responsabiliza por todo lo publicado en la revista, esforzándose por satisfacer las necesidades de los lectores y autores; por mejorar constantemente la revista; por asegurar la calidad del material que publica; por impulsar los estándares académicos y científicos.
- La decisión del editor de aceptar o rechazar un texto para su publicación estará basada únicamente en la importancia del artículo, la originalidad, la claridad y la pertinencia que éste represente para la revista.
- El editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los revisores la identidad de los autores. Tampoco podrá revelar la identidad de los revisores en ningún momento.
- El editor asume la responsabilidad de informar debidamente al autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del dictamen.
- El editor evalúa los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los autores.

Responsabilidades de los autores

- Los autores deben garantizar que sus manuscritos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética. Además, deben garantizar que sus trabajos no han sido previamente publicados o que no están siendo considerados en otra publicación. Se considerará un trabajo como previamente publicado cuando ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:
 1. Cuando el texto completo haya sido publicado.
 2. Cuando fragmentos extensos de materiales previamente publicados formen parte del texto enviado a la Revista AvaCient y no existan cambios sustanciales en las aportaciones del mismo.
 3. Cuando el trabajo sometido a la Revista esté contenido en memorias publicadas in extenso.
 4. Estos criterios se refieren a publicaciones previas en forma impresa o electrónica, y en cualquier idioma.
- Para la publicación de sus trabajos, los autores deben seguir estrictamente la guía para autores definida en AvaCient.
- Los autores de los artículos deben presentar una descripción precisa de la investigación realizada, así como una discusión objetiva de su importancia. Un documento debe contener suficiente detalle y referencias para permitir a otros utilizar el trabajo. Declaraciones fraudulentas o deliberadamente inexactas constituyen un comportamiento poco ético y son inaceptables.
- Los autores deben garantizar que han escrito en su totalidad las obras originales, y si los autores han utilizado el trabajo y/o palabras de otro(s) tiene(n) que ser debidamente citado(s). El plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable. En consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.
- Un autor no debería, en general, publicar artículos que describen esencialmente la misma investigación en más de una revista o publicación primaria. La presentación del mismo manuscrito a más de una revista constituye un comportamiento poco ético y la publicación es inaceptable.
- Se deben de reconocer las fuentes adecuadamente. Los autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del trabajo presentado.
- La autoría debe limitarse a aquellos que han hecho una contribución significativa a la concepción, diseño, ejecución o interpretación del estudio. Todos aquellos que han hecho contribuciones significativas deben aparecer como coautores. El o los autores principales deben asegurar que todos los coautores se incluyen en el artículo, y que todos han visto y aprobado la versión final del documento y han acordado su presentación para su publicación desde el principio del proceso.
- Todos los autores deben revelar en su manuscrito cualquier conflicto financiero o de otro tipo que pudiera influir en los resultados o interpretación de su manuscrito. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser revelados.

Responsabilidades de los revisores

- Los revisores se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los manuscritos que evalúan.
- Para la revisión de los trabajos, los revisores deben contar con las normas para realizar esta tarea. Dichas normas deben ser proporcionadas por la Revista y son las que deben de considerar para la evaluación.
- Todo revisor seleccionado debe notificar en el tiempo establecido al editor de la Revista si está calificado para llevar a cabo la revisión del trabajo o si no está en la posibilidad de hacerlo.
- Cualquier manuscrito recibido para su revisión debe ser tratado como documento confidencial. No se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del editor.
- Los revisores se deben conducir de manera objetiva. Toda crítica personal al autor es inapropiada. Los revisores deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos.

AvaCient tiene la intención de adherirse a estándares éticos, con el propósito de orientar a los autores, revisores y editor en el desempeño de sus funciones.

Tabla de contenido

Presentación de la revista.

Directorio y cintillo.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas.

Comité editorial científico.

1.- La alianza federalista en México (2018-2022): Lejos de la autonomía fiscal y cerca del Gobierno Federal.

1

José Emair Díaz Ortiz.
Miguel Ángel Barrera Rojas.

2.- Métodos de caracterización de flavonoides en la granada (*Punica granatum*): una revisión.

15

Fernando Ayala-Flores.
Ma. del Carmen Chávez-Parga.
Juan Carlos González-Hernández.

3.- Reducción de defectos en una de línea de montaje de arneses eléctricas automotrices aplicando manufactura esbelta.

24

Beatriz Adriana Esparza Ramírez.
Fernando Ricárdez Rueda.
Isaías Emmanuel Garduño Olvera.

4.- Regresión lineal para predecir la motivación intrínseca como indicador en alumnos del TECNM campus Puruándiro.

40

Cristian Alexis Villegas Bedolla.
Rodolfo Cisneros González.
María Ximena Rodríguez Espinoza.

5.- Propiedades electrónicas, mecánicas y termodinámicas de titanita (CaTiSiO_5).

53

Balter Trujillo Navarrete.
Mirza Mariela Ruiz Ramírez.
Rosa María Félix Navarro.
Francisco Paraguay Delgado.
Jassiel Rolando Rodríguez Barrera.

Comité Editorial Científico

Instituto Tecnológico de Chetumal (México)

Dr. Julio César Cruz Argüello (SNI)
Mtra. Claudia Beatriz Rodríguez Poot
Dr. Luis Felipe Jiménez Torrez (SNI)
Mtro. Enrique Alpuche Pérez
Dr. Leopoldo Querubin Cutz Pool
Dra. Alicia Carrillo Bastos
Mtra. María Josefina Aguilar Leo
Dr. Eustacio Díaz Rodríguez (SNI)
Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo (SNI)
Dr. Robert Beltrán López (SNI)
Dra. Blandy Berenice Pamplona Solís (SNI)
Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar (SNI)
Dra. Herlinda del Socorro Silva Poot

Universidad de Quintana Roo (México)

Dr. Edgar Alfonso Sansores Guerrero (SNI)
Dra. Juana Edith Navarrete Marneou (SNI)
Dra. Luz Margarita González López
Dr. Ángel Aarón Rosado Varela

Universidad Politécnica de Bacalar (México)

Mtra. María Antonia de los Angeles Díaz Martín

Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

Dra. Ana María López Carmona

Universidad Autónoma de Aguascalientes (México)

Dr. Miguel Ángel Oropeza Tagle (SNI)

Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo (México)

Dra. Valeria Betzabé Cuevas Albarrán (SNI)

Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan (México)

Dra. Esmeralda Aguilar Pérez (SNI)

Universidad de Piura (Perú)

Dr. Luis Gerardo Gómez Jacinto

Instituto Tecnológico de Comitán (México)

Dr. Francisco Gabriel Yáñez Domínguez

Universidad Autónoma de Yucatán (México)

Dra. Elizabeth del Rosario Vázquez Borges

Universidad Tecnológica de Chetumal (México)

Dr. Martín Antonio Santos Romero

Universidad Veracruzana (México)

Dr. Saulo Sinforoso Martínez (SNI)
Dr. Oscar Yahevh Carrera Mora (SNI)

Universidad de Oriente campus Puebla (México)

Dr. Carlos Alberto Lobato Tapia

Instituto Tecnológico de Celaya (México)

Dr. J. Jesús Villegas Saucillo

Red de Investigadores de la Transcomplejidad (Venezuela)

Dra. Crisálida Villegas González

Instituto Tecnológico de Iguala (México)

Mtro. Sergio Ricardo Zagal Barrera

Mtro. Jorge Eduardo Ortega López

Instituto Tecnológico de Sonora (México)

Mtro. Ciriaco Jesús Manuel Valenzuela Romero

Universidad Autónoma de Tlaxcala (México)

Dra. María Mercedes Rodríguez Palma

Universidad del Mar (México)

Dr. Eduardo Jiménez Hidalgo (SNI)

Instituto Tecnológico de la Zona Maya (México)

Dr. Fernando Casanova Lugo (SNI)

Universidad de Guadalajara (México)

Dr. Rogelio Rivera Fernández (SNI)

Dr. Francisco Javier Moscoso Sánchez (SNI)

Dra. Adriana Hernández García (SNI)

Universidad del Valle de Atemajac (México)

Dr. Evelio Gerónimo Bautista (SNI)

Ecosur (México)

Dra. Carla Beatriz Zamora Lomelí (SNI)

Universidad de Sonora (México)

Dr. José Christian Arias-Herrera

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos (México)

Mtra. Karla Margarita Castilla Acosta

Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo (México)

Mtra. Susana Reyes Vázquez

Universidad ESAN (Perú)

Dr. Edmundo R. Lizarzaburu Bolaños

Universidad del Caribe (México)

Dr. Miguel Ángel Olivares Urbina (SNI)

SFAI México (México)

Mtro. Miguel Chamlaty Toledo

Instituto Tecnológico de Morelia (México)

Mtra. Melina Velasco Plascencia

Dr. Mario Misael Machado López (SNI)

Universidad de las Américas (Venezuela)

Dra. Franyelit María Suárez Carreño

Universidad Nacional de Huancavelica (Perú)

Dr. Edwin Julio Cóndor Salvatierra

Universidad de Ciego de Ávila (Cuba)

Mtro. Esteban Rodríguez Torres

LA ALIANZA FEDERALISTA EN MÉXICO (2018-2022): LEJOS DE LA AUTONOMÍA FISCAL Y CERCA DEL GOBIERNO FEDERAL

José Emair Díaz Ortiz¹ Miguel Ángel Barrera Rojas²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 03/05/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen.- Este trabajo presenta un análisis sobre el peso que tienen las aportaciones en materia de recaudación fiscal que las entidades miembros de la Alianza Federalista (AF) tienen respecto de los recursos federalizados que han recibido en los últimos cuatro años. En ese sentido el documento se estructura en tres secciones, la primera donde se explica el contexto de encono que la AF tiene con el pacto fiscal federal en México; la segunda en donde se hace una revisión histórico-teórica sobre el origen del modelo federal fiscal. En la sección de discusión se revisan y analizan los datos, y finalmente se ofrecen las conclusiones. Entre los resultados más importantes se encontró que todos los estados de la AF, salvo por el caso de Nuevo León, presentan una altísima dependencia a las transferencias federalizadas pues tienen niveles de recaudación sumamente bajos. Esto implica que el discurso de la AF sobre abandonar el pacto fiscal federal esté más próximo a ser un eslogan electoral que una intención seria.

Palabras Clave: Federalismo, transferencias, dependencia, autonomía.

THE FEDERALIST ALLIANCE IN MEXICO (2018-2022): FAR FROM FISCAL AUTONOMY AND CLOSE TO THE FEDERAL GOVERNMENT

Abstract- This paper presents an analysis of the weight of the contributions in terms of tax collection that the member entities of the Federalist Alliance (AF) have with respect to the federalized resources that they have received in the last four years. In this sense, the document is structured in three sections, the first one where the context of anger that the AF has with the federal fiscal pact in Mexico is explained; the second where a historical-theoretical review is made on the origin of the federal fiscal model. In the discussion section the data is reviewed and analyzed, and finally the conclusions are offered. Among the most important results, it was found that all the FA states, except for the case of Nuevo León, present a very high dependence on federalized transfers because they have extremely low collection levels. This implies that the AF's speech about abandoning the federal fiscal pact is closer to being an electoral slogan than a serious intention.

Keywords: Federalism, transfers, dependence, autonomy.

Introducción

El Federalismo fiscal en México ha buscado desde sus inicios una mejor administración y distribución de los impuestos recaudados. Para ello, la federación ha concedido autonomía y facultades fiscales a los órdenes estatales y municipales para mejorar sus tasas de recaudación. Sin embargo, esta estructura federal fiscal ha sido utilizada con fines políticos y de agenda electoral para, por un lado, presionar al gobierno federal con la inyección de mayores recursos a entidades particular, y, por otro lado, que los presidentes municipales y gobernadores, principalmente estos últimos, busquen colocarse en la agenda político-electoral como abanderados de la oposición política con miras a procesos electorales locales o federales inmediatos.

Esta agenda político-electoral que ha tomado como estandarte la desigualdad en el pacto fiscal federal se puso de manifiesto en 2019 cuando un grupo de actores políticos, encabezados por el entonces Senador por el estado de Nuevo León, Samuel García, comenzaron a lanzar en medios señalamientos y cuestionamientos sobre lo mucho que sus estados producen y recaudan fiscalmente en contraste con lo poco que reciben en términos de presupuesto federalizado.

¹ Licenciatura en Gobierno y Gestión Pública, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, e-mail 1823071@uqroo.mx Orcid: 0009-0009-4577-4556

² Licenciado en Economía Financiera, Escuela Bancaria y Comercial; Maestro en Desarrollo Regional, El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana; Doctor en Geografía, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT nivel 1. Profesor Investigador de Carrera en la División de Ciencias Políticas y Económicas de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Líneas de investigación: pobreza; desigualdad; marginación; política social Correspondencia a Edificio D planta alta, Universidad de Quintana Roo, Blvd Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Colonia del Bosque, Chetumal, Quintana Roo. C.p. 77039. Teléfono 983-8350300 ext 5285 e-mail miguel.barrera@uqroo.edu.mx Orcid: 0000-0002-9240-7646 (**Autor de correspondencia**).

Para 2020 a dicha campaña en medios se unieron los gobernadores de diez estados: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Colima y Michoacán, quienes, ante la pandemia por COVID-19 reclamaron mayores recursos monetarios por parte de la federación para atención de la población, construcción y remodelación de hospitales generales, y compra de equipo médico y medicinas (Alianza Federalista, 2023), siempre bajo la premisa de que sus estados son los que “mas aportan” a la federación.

En sentido de lo anterior, será importante señalar que en el caso de la pandemia por Covid-19 los gobiernos federales se vieron forzados, a tomar decisiones radicales en materia fiscal y gasto de salud: por un lado están casos como el de El Salvador donde el Presidente Bukele recurrió a préstamos del Fondo Monetario Internacional para hacer frente a la insuficiente infraestructura hospitalaria y la compra de vacunas; y por otro lado, los casos como México, donde además de no haber contratado deuda, se mejoraron los mecanismos de recaudación fiscal así como un mayor etiquetado de recursos que el gobierno federal transfirió a las entidades federativas.

Así, el actual gobierno federal del presidente López Obrador se ha conducido con una política fiscal conservadora con los contribuyentes cautivos pues no se han creado nuevos impuestos y los ya existentes incluso han sido adheridos a programas de estímulos fiscales como la reducción de tasas de ISR en las fronteras norte y sur; y esta misma política fiscal ha sido intensa y de presión con grandes empresas. Especialmente con aquellas que tenían deudas históricas con el sistema tributario mexicano³.

Dicha estrategia fiscal ha sido acompañada también de autonomía fiscal tanto para estados como municipios para que estos puedan incrementar sus niveles recaudatorios y sus ingresos propios, sin embargo, como se verá más adelante, son pocos los estados y aún menos los municipios que hacen válida esta autonomía, pues la creación o cobro de impuestos a nivel local tiene un efecto importante en la percepción que los ciudadanos tienen sobre los gobiernos locales, especialmente al momento de votar (Balanguer & Brun, 2013; Martínez, 2015; Rosas, 2018). De lo anterior se desprende el objetivo de este trabajo que es analizar las condiciones de aportación y recepción de recursos que los estados de la Alianza Federalista han tenido en el marco del pacto fiscal en México durante los últimos cuatro años.

Materiales y Metodos

La Alianza Federalista y el pacto fiscal en México

Los primeros sucesos de relevancia nacional se presentan en 2019 cuando el entonces Senador de la República, Samuel García envió al congreso local de Nuevo León una iniciativa para modificar el artículo 133 de la constitución local (Grupo Legislativo PMC, 2019) cuya propuesta fue derogar una fracción que obligaba el cumplimiento de los convenios de adhesión al Sistema Nacional de Coordinación Fiscal (SNCF) con la federación si esta no regresaba al menos 50% de los recursos que aporta la entidad a dicho sistema federal.

En ese sentido, la argumentación hecha por García Sepúlveda es la injusticia en lo que contribuyen al sistema fiscal federal y lo que reciben de vuelta que ronda el 23%. Además, el exsenador acusó que la fórmula de distribución al basarse en criterios de la población y las carencias castiga a estados ricos y otorga beneficios a los pobres, puntualizando que en los “últimos 40 años que se nos castiga y al sur del país que siempre han dicho que nunca llega el dinero y que está abandonado, la realidad es todo lo contrario, porque hay estados como Chiapas que le dan 10 veces lo que ponen, Guerrero que le dan 12 veces lo que ponen y Oaxaca le dan 15 veces lo que ponen (Grupo Legislativo PMC, 2019)”.

Posteriormente, en abril del 2020 en el contexto de la emergencia sanitaria por COVID-19, García en entrevista con Grupo Reforma reprochó el desinterés del gobierno federal para apoyar económicamente en el tema de la crisis por la pandemia, enfatizó nuevamente que, si se abandonará el pacto, los recursos alcanzaría para contener la enfermedad y generar programas emergentes para empresas (García, 2020).

Después, el 29 de octubre del 2020, en la Cámara de Senadores, García Sepúlveda recriminó la integración del paquete fiscal y la centralización recaudatoria federal donde el Sistema de Administración Tributaria (SAT) cobra “los principales impuestos ISR, el IVA, el IEPS en un convenio fiscal donde el presidente se queda con el 80% para sus

³ De acuerdo con cifras preliminares de diarios especializados, la federación ha recuperado un monto de 2 millones 989 mil 471 millones de pesos que grandes empresas como Walmart, Femsac-Coca Cola, BBVA tenían como adeudos de impuestos de años anteriores a 2022 (El Financiero, 2022)

proyectos, 4% para 2 mil 550 municipios y un 16% para 32 estados de la República, que hoy se quejan de que están quebrados (El Universal, 2020)".

En relación con los principales impuestos cobrados en el país, el 6 de noviembre García propuso la creación de un SAT local que asumiría la responsabilidad de la recaudación de estos, pues "Nuevo León ya no quiere pagarle al SAT de AMLO porque no llega el dinero. Nuevo León quiere un SAT que cobre aquí el ISR, el IVA, el IEPS, más los impuestos locales y que se inviertan aquí (LaPolíticaOnline, 2020, pág. sp)". Por último, para el 09 de junio del 2021 como virtual gobernador del Estado planteó nuevamente renovar el convenio fiscal con la federación para así garantizar obras en materia de salud, bienestar social y movilidad.

De igual forma, otro hecho endureció la crítica sobre el pacto fiscal federal fue la conformación de la efímera Alianza Federalista (AF) integrada por los gobernadores de aquel entonces: Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León y Tamaulipas misma que se instaló el 11 de septiembre de 2020 cuyos objetivos en la materia fueron "fortalecer el federalismo con una organización, regulación, regulación, convivencia y coordinación sana, respetuosa, justa, republicana, funcional y eficaz; poner al día el Sistema de Coordinación Fiscal, la Convención Nacional Hacendaria, el federalismo político y la coordinación de atribuciones exclusivas y concurrentes; y revertir toda medida centralista que atente o viole el pacto federal (Alianza Federalista, 2023)".

Los antecedentes de la AF se dan en el contexto de la pandemia por COVID-19 en 2020. Así, en marzo los gobernadores de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas acordaron una alianza para enfrentar la pandemia, que se tradujo en la creación de un fondo federal. En materia fiscal, en abril con motivo la quinta reunión entre los gobernadores de aquel entonces Nuevo León (Jaime Rodríguez), Tamaulipas (Francisco Cabeza de Vaca), Coahuila (Miguel Riquelme), y Jalisco (Enrique Alfaro) se abordó la vigencia del pacto fiscal y se propuso un cambio de las fórmulas de distribución de recursos federales hacia las entidades. Al respecto Cabeza de Vaca señaló que la actual "ley (de Coordinación Fiscal) tiene 40 años, por lo cual merece un análisis sobre las opciones que se tienen para ver la posibilidad de hacer modificaciones que permitan a los Estados tener mayores atribuciones (recaudatorias) o que la fórmula se modifique para enfrentar parte de las responsabilidades que se les han dado a los Estados sin darles presupuesto (Chacón & Reyes, 2020, pág. 1)".

Más adelante, para julio, las críticas con la fórmula de distribución de los fondos federalizados se endurecieron, el entonces Gobernador de Tamaulipas, Francisco Cabeza de Vaca señaló que "los estados están siendo estrangulados con la fórmula de redistribución y que el gobierno central concentra decisiones políticas y administrativas, hasta los recursos de los fideicomisos, con el propósito de utilizarlos en sus programas sociales (Cejudo, 2020, pág. sp)".

Para octubre de 2020, en el contexto del proceso de discusión y aprobación del Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2021 (PPEF), los miembros de la AF se sumaron para proponer ajustes con base a las necesidades sociales del país, defendiendo los recursos de participaciones y aportaciones federales. A esto, el entonces Gobernador de Michoacán, Silvano Aureoles extendió una invitación señalando lo siguiente:

Lo llamamos y les solicitamos que reflexionen y se solidaricen con el Estado y corrijan el Presupuesto 2021 para diseñar y aprobar un presupuesto justo y eficiente, ni más ni menos, para Michoacán, sólo lo que nos corresponde por lo mucho que le aportamos a la República". Además, añadió que el centralismo de recursos y de poder no es funcional para una sociedad compleja y plural como la nuestra, el imperio de la ley debe de ser el punto de partida para constituir una mejor sociedad y mejorar nuestros resultados (Baranda, Briones, & Escalante, 2020, pág. 1)

Por último, en noviembre del 2020 en un comunicado en conjunto la AF enfatizó en "No romper con la unidad federal, y ponderó la necesidad una reforma integral al Sistema de Coordinación Fiscal con la participación de consejos ciudadanos y de los miembros de que componen el bloque aliancista" (Alianza Federalista, 2020; 2020).

Las posturas hechas en su momento tanto por la AF como del hoy gobernador Samuel García enfatizan la injusticia en el reparto de los ingresos federales derivado de la actual fórmula en especial de las transferencias a través de participaciones y aportaciones que privilegian a los estados más pobres y castigan a los más ricos y de una centralización fiscal del Gobierno Federal, lo cual ha implicado dificultades financieras para poder hacer frente a contextos de crisis tal como la del COVID-19 en el país. Lo anterior, siguen la narrativa de que los estados con mayores niveles de desarrollo como producen más riqueza e ingresos, y su aporte tanto al Producto Interno Bruto (PIB) como a la recaudación de impuestos claves como el ISR, IVA e IEPS a nivel nacional merecen mayores beneficios

económicos que el resto de las entidades. Sin embargo, estos olvidan las implicaciones de pertenecer al federalismo y en consecuencia al federalismo fiscal, los cuales analizaremos a continuación.

Sobre el sistema federalizado

El federalismo como modelo de organización política, administrativa y fiscal es ampliamente utilizado por diversos países dado sus virtudes en el proceso de distribución de atribuciones y poderes entre las partes integrantes, en ese sentido Burgoa (1991) apunta que el proceso de formación de un Estado Federal se da en tres momentos particulares: la existencia de Estados autónomos, es decir “un sistema de reglas para la división de responsabilidades de política pública entre un número de agencias gubernamentales autónomas” (Anton, 1998, pág.3); el pacto para unirse derivado de la suma de fuerzas políticas “que impulsa el principio en el que no existe ninguna mayoría ni minoría simples, más bien en el que las mayorías están compuestas por coaliciones y grupos, que ayuda a proteger minorías y al mismo tiempo fuerza a las mayorías al consenso” (Eleazar, 1991); y, la creación de un nuevo Estado donde una constitución federal garantiza “la distribución de competencias entre la federación y los Estados, (... además de) la resolución de los conflictos por una instancia neutral, generalmente un Tribunal Constitucional; unas instituciones representativas en los Estados que actúan políticamente sin dependencia de la federación” (Reyes, 2006, p. 35).

El origen del modelo federal se remonta a finales de 1780, posterior a la independencia de Estados Unidos. Entre 1787 y 1788 Alexander Hamilton, James Madison y John Jay escribieron una serie de 85 ensayos, a la postre compilados en un libro llamado *El federalista* (Hamilton, Madison, & Jay, 1943) donde se señalan las ventajas de tener un modelo político sustentado en un modelo que supla a la confederación bajo la que se articulaban las 13 colonias. Este modelo, federal, se basaría en una constitución centralista que tuviera como prioridad los derechos de los ciudadanos, especialmente los políticos.

Es importante señalar que el modelo federal propuesto por los estadounidenses defiende la división de poderes propuesta por la Constitución, especialmente porque el modelo federal supone una equitativa distribución de poder a través de un sistema de pesos y contrapesos políticos, así como de responsabilidades y autonomías en el que los estados miembros ceden ciertas protestades a un Estado mayor, es decir, la federación, quien procurará el bienestar y las condiciones adecuadas para el logro de ello. En consecuencia, permite enfocar recursos, esfuerzos económicos y sociales en actividades esenciales como salud, seguridad y justicia interna.

En materia tributaria, permite a los integrantes establecer las condiciones de recaudación de acuerdo con las condiciones delimitadas en la constitución federal y las regulaciones derivadas de los acuerdos, lo que a su vez impulsa el desarrollo y reduce las brechas de desigualdad económica entre los estados. Esto último deriva en otro componente llamado fiscal. En ese sentido, federalismo fiscal tiene el enfoque de centrar los instrumentos, legislaciones y convenios que las partes integrantes (federación, estados y municipios) acuerdan para coordinarse en materia de recaudación de impuestos, derechos u otros ingresos de forma concurrente o exclusiva (Sharma, 2005; Pliego, 2010).

Para Oates (2002) la relevancia del federalismo fiscal radica en que la responsabilidad primaria sobre el control la macroeconomía, así como la política monetaria recae en el gobierno federal mientras que los demás miembros puedan enfocar sus esfuerzos tanto en el control interno de sus territorios como en la provisión de bienes y servicios adecuados y específicos. Esto último estará en función de la capacidad que dichos órdenes de gobierno sobre los recursos económicos que tienen mismos que suelen provenir de dos fuentes: las asignaciones federales y las recaudaciones propias.

Dicho sistema se presentan desequilibrios en cuanto a los ingresos-gastos de manera vertical, es decir, hay “desajuste entre su nivel particular de los ingresos propios del gobierno, (sin incluir las subvenciones de otros niveles de gobierno) y los gastos propios (sin incluir las subvenciones a otros niveles de gobierno)” (Sharma, 2012, p. 152); y, horizontal, esto es, cuando los mecanismos que cada estado establece para la recaudación fiscal y la provisión de servicios a su población resulta escueta (Sharma, 2012; León, Cernas y Ortiz, 2021).

Al respecto, Oates (1999, pág. 1124) y Sharma (2012) consideran que el federalismo fiscal permite corregir dichas desigualdades a través de transferencias fiscales provenientes del orden federal, pues “Un nivel de gobierno que genera mayores ingresos fiscales a sus egresos puede transferir el superávit a otro nivel de gobierno para financiar parte de su presupuesto”. En relación con lo anterior, Musgrave (1959) menciona que el rol principal del uso de las transferencias fiscales es motivar la equidad entre los gobiernos subnacionales con el fin de mejorar la eficiencia de la entrega de bienes y servicios que demanda cada población, esto va de la mano con lo que lo indican Hernández e Iturribarria

(2003) sobre que el uso de este mecanismo permite resarcir y compensar a las regiones atrasadas, sin desincentivar el esfuerzo fiscal de los gobierno estatales y municipales, por lo que se puede hablar de incentivos resarcitorios y compensatorios.

Federalismo y pacto fiscal en México

En México el modelo federalizado se adoptó hasta 1824 con la promulgación de la primera Constitución Política, en ella se definió que:

Las partes de esta federación son los Estados y Territorios siguientes: el Estado de las Chiapas, el de Chihuahua, el de Coahuila y Tejas, el de Durango, el de Guanajuato, el de México, el de Michoacán, el de Nuevo León, el de Oajaca, el de Puebla de los Ángeles, el de Querétaro, el de San Luis Potosí, el de Sonora y Sinaloa, el de Tabasco, el de las Tamaulipas, el de Veracruz, el de Xalisco, el de Yucatán y el de los Zacatecas: el Territorio de la Alta California, el de la Baja California, el de Colima, y el de Santa Fe de Nuevo México. Una ley constitucional fijará el carácter de Tlaxcala (Congreso General Constituyente, 1824, pág. 1)

En lo que se refiere a las facultades en materia fiscal, la constitución de 1824 en su artículo 50 delimitó que es facultad del Congreso de la Unión todo lo relativo con la planeación y presupuestación; mientras que en el artículo 160 se estableció la obligación de los estados para “contribuir para consolidar y amortizar las deudas reconocidas por el congreso general”, así como de “remitir anualmente a cada una de las Cámaras del congreso general nota circunstanciada y comprensiva de los ingresos y egresos de todas las tesorerías que haya en sus respectivos distritos, con relación del origen de unos y otros (Congreso General Constituyente, 1824, pág. 23).

En 1857, la nueva constitución conservó la inercia federalista en materia fiscal en el sentido de otorgar a la federación la facultad del control de la política monetaria y de la política fiscal en materia de impuestos. Se conservó la facultad a los estados para crear los impuestos necesarios y cobrarlos para uso de su erario. Y, finalmente, se reconoció a los municipios como parte del pacto fiscal federal.

Asimismo, con la nueva versión de la Constitución en 1917 considerada como uno de los instrumentos jurídicos más adelantados de su época, reorganizó la política, administración y competencias tributarias en el país. Por ejemplo, el artículo 115, fracciones I y II concede autonomía hacendaria no solo a los estados, sino también a los municipios. Mientras que los artículos 117 y 118 establecen y delimitan con claridad las facultades y restricciones fiscales y hacendarias que la federación y los estados tienen. Los artículos 120 al 122 establecen las obligaciones fiscales y políticas que se tienen entre los tres órdenes de gobierno; y finalmente, el 124 concede autonomía a los estados para crear y recaudar sus propios impuestos.

Una vez que la constitución de 1917 delimitó la estructura normativa y funcional del federalismo fiscal era necesario que los estados y la federación se organizaran para evitar la duplicación en los impuesto cobrados, pues como bien señala Castañeda (2003) “Un sistema fiscal con multiplicidad de tributos tanto federales como estatales y municipales, complejo e inequitativo para los contribuyentes, con demasiadas leyes fiscales frecuentemente contradictorias, exacciones en gravámenes concurrentes desproporcionadamente altas y la multiplicidad de funciones similares de administración tributaria” puede generar problemas recaudatorios y conflictos con los contribuyentes.

En ese sentido, los primeros esfuerzos en la materia se dieron en 1925 con la Primera Convención Fiscal que contó con la participación del presidente Plutarco Elías Calles, el secretario de Hacienda, así como delegados de los estados y municipios. El primer encuentro tuvo el objetivo de establecer las responsabilidades fiscales para el cobro de las contribuciones que implicó delimitar competencias locales y federales para unificar el sistema fiscal. En ese sentido, se acordó que la federación tendría la facultad para el cobro de impuestos sobre comercio exterior, sobre la renta, sobre herencia y legados, sobre materias enumeradas en las fracciones IV y V del artículo 27 constitucional; mientras que los estados tendrían facultades para el cobro de impuestos en materia de predial, actos jurídicos no comerciales, capitales invertidos en propiedad inmobiliaria, producción agrícola y derechos sobre servicios públicos (Castañeda, 2003).

A pesar de los avances para armonizar la recaudación de impuestos y las competencias fiscales se necesitó de un marco regulatorio mayor por lo que se celebró la Segunda Convención Fiscal en 1933 misma que retomó las conclusiones de la sesión pasada, se discutieron las delimitaciones jurídicas fiscales, así como la búsqueda por la unificación de los sistemas locales de recaudación para lograr la consolidación de una coordinación con el sistema federal (Reyes, 2004). En consecuencia, en 1934 se reformó el artículo 73 constitucional para establecer como facultad de la federación la

creación y cobro de impuestos en materia de energéticos, industria cinematográfica, producción de alcohol, tabaco y fermentados, así como de explotación forestal. Pese al notorio avance en materia de coordinación fiscal aún estaba pendiente el tema de la redistribución de los ingresos que la federación tuviese en materia de los productos recién legislados en el art. 73. Esta tarea continuó pendiente puesto que los gobernadores de algunos estados no estaban de acuerdo con que la explotación de energéticos se llevase a cabo dentro de sus territorios y no pudieran cobrar impuestos en esa materia. Era entonces necesario plantear una estructura jurídica clara que sirviera como base para establecer los mecanismos de distribución de recursos desde la federación hacia estados y municipios.

En 1947, tuvo lugar la tercera Convención Fiscal que concluyó con los trabajos que derivaron en la promulgación de dos leyes: La Ley que Regula el Pago de Participaciones en Ingresos Federales a las Entidades Federativas, que como el nombre lo indica, fijó los mecanismos y porcentajes que la federación y los estados utilizarían para la distribución de las recaudaciones federales; y, la Ley de Coordinación Fiscal entre la Federación y los Estados, esta ley otorgó certeza a los acuerdos hechos en las convenciones anteriores en el sentido de:

- a) “Proponer medidas encaminadas a coordinar la acción impositiva de los gobiernos federal y locales, procurando una distribución equitativa de los ingresos de la economía pública entre la Federación, los Estados, Distrito Federal, Territorios y Municipios.
- b) Actuar como consultor técnico para la expedición de leyes en materia fiscal, a solicitud del Gobierno Federal o de los Estados de la República
- c) Gestionar el pago oportuno de las participaciones en impuestos federales que corresponden a las Entidades Federativas y a los Municipios.
- d) Ejercer las facultades que le confiere la presente ley, cuando existan restricciones indebidas al comercio en alguna de las Entidades Federativas” (Castañeda, 2003, p. 6).

La Ley de Coordinación Fiscal entre la Federación y los Estados se renovó en 1978 y se llamó Ley de Coordinación Fiscal. En su reestructuración esta ley consideró la creación del Sistema Nacional de Coordinación Fiscal que rige actualmente los dos ingresos más importantes que los Estados reciben de la Federación las cuales son las aportaciones (Ramo 33) y participaciones (Ramo 28), así como los convenios de colaboración, reasignación y excedentes de ingresos federales.

Las aportaciones federales son recursos que la Federación transfiere a las haciendas públicas estatales y municipales, condicionando su gasto a la consecución y cumplimiento de los objetivos que para cada tipo de aportación. Los fondos que integran este ramo:

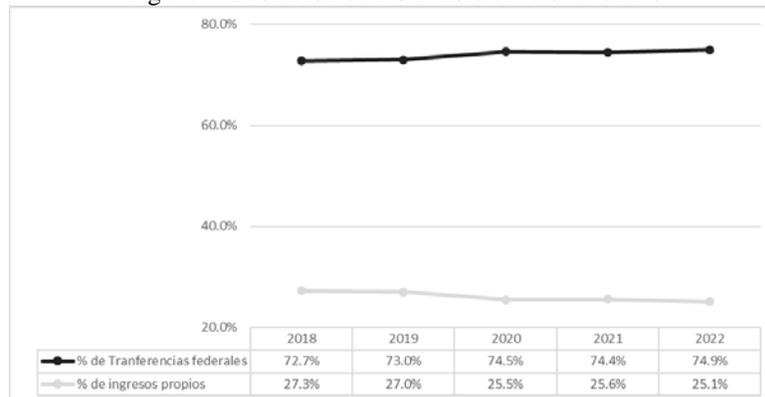
- I. Fondo de Aportaciones para la Nómina Educativa y Gasto Operativo;
- II. Fondo de Aportaciones para los Servicios de Salud;
- III. Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social;
- IV. Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de los Municipios y de las Demarcaciones Territoriales del Distrito Federal;
- V. Fondo de Aportaciones Múltiples:
- VI.- Fondo de Aportaciones para la Educación Tecnológica y de Adultos;
- VII.- Fondo de Aportaciones para la Seguridad Pública de los Estados y del Distrito Federal y
- VIII.- Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de las Entidades Federativas. (Cámara de Diputados, 1978, págs. 25-26)

En tanto, las participaciones federales (Ramo 28), son recursos que la federación transfiere a los Estados y municipio a libre disposición, administrados a través del Fondo General de Participaciones. En ambos casos, los recursos son financiados a través de la recaudación federal participable, la cual “será la que obtenga la Federación por todos sus impuestos, así como por los derechos de minería, disminuidos con el total de las devoluciones por dichas contribuciones (Cámara de Diputados, 1978, pág. 2), con algunas exclusiones dependiendo del caso.

En general, las transferencias federales hacia los estados y municipios cumplen los criterios teóricos del federalismo fiscal de ser compensatorios y resarcitorios, pues buscan mantener un equilibrio de desarrollo económico y social entre los tres órdenes, así como evitar los desequilibrios horizontales y verticales, lo que contribuye a incentivar la recaudación interna.

Resultados

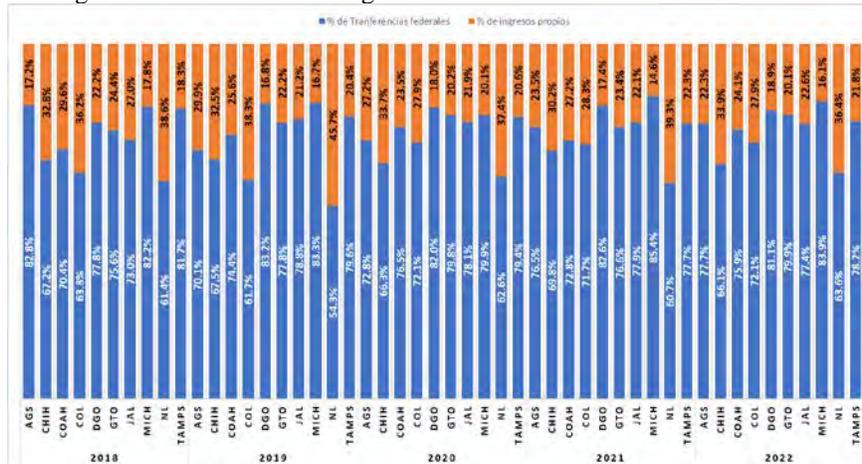
Figura 1. Evolución de las transferencias federales



Nota. Elaboración propia con datos de las leyes de ingreso de los estados miembros de la AF de 2018-2022.

Ahora bien, en un análisis de dicha situación con un nivel desagregación estatal se observa (figura 2) que, en 2018, las entidades con mejores porcentajes recaudatorios fueron: Nuevo León (38.6%), Colima (36.2%) y Chihuahua (32.8%) mientras que los peores fueron para: Aguascalientes (17.2%), Michoacán (17.8%) y Tamaulipas (18.3%). En 2019, el panorama para la AF varió, quienes obtuvieron límites superiores en dicha variable fueron: Nuevo León (45.7%), Colima (38.3%), Chihuahua (32.5) y con límite inferiores son: Michoacán (16.7%), Durango (16.8%) y Tamaulipas (20.4%). En 2020, los abanderados fueron Nuevo León (37.4%), Chihuahua (33.7%) y Colima (27.9%) por el contrario quienes no destacaron fueron Durango (18%), Michoacán (20.1%) y Guanajuato (20.2%). En 2021, los resultados favorecieron a Nuevo León (39.3%), Chihuahua (30.2%) y Colima (28.3%) y caso contrario fue para Michoacán (14.6%), Durango (17.4%) y Jalisco (22.1%). Por último, en 2022, los estados con las principales posiciones fueron Nuevo León (36.4%), Chihuahua (33.9%) y Colima (27.9%) y las últimas posiciones fueron para Michoacán (16.1%), Durango (18.9%) y Guanajuato (20.1%). En tal sentido, se concluye que la participación máxima registrada de ingresos propios fue de Nuevo León que en 2019 con 45.7% respecto al total de ingresos estimados mientras que la peor proporción fue de Michoacán en 2021 que apenas pudo recaudar el 14.6% de sus ingresos totales.

Figura 2. Evolución de los ingresos de los miembros de la AF 2018-2022



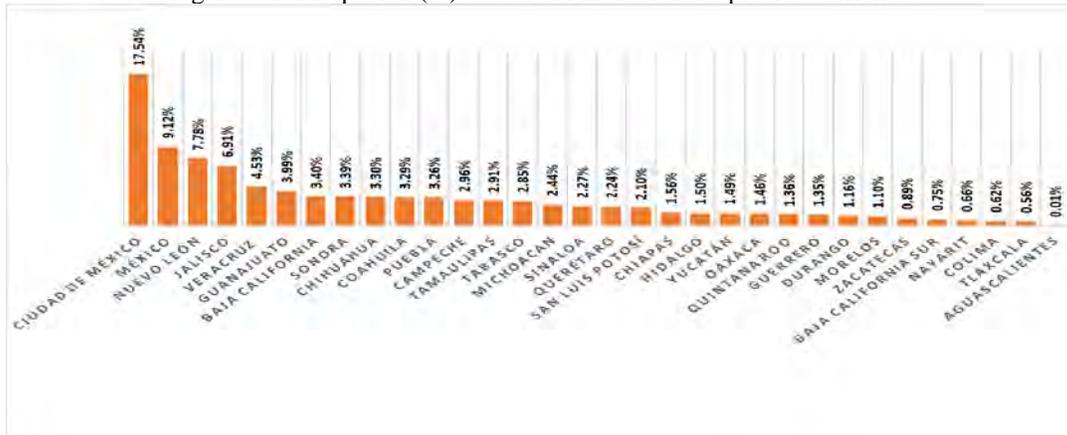
Nota. Elaboración propia con datos de las leyes de ingreso de los estados miembros de la AF en el periodo 2018-2022.

Discusión

Se evidencia que los miembros de la AF presentan débiles sistemas estatales de recaudación, salvo escasas excepciones como Nuevo León, Chihuahua y Colima que son capaces de mantener un nivel recaudatorio superior al 30% que si bien resulta insuficiente son de los mejores existentes. Además, dicha situación llama la atención, pues aun cuando la evolución de los ingresos estatales de los miembros de la AF ha mejorado, la realidad es que la brecha entre ingresos por la vía de transferencias *versus* ingresos por recaudación sigue siendo muy amplia.

Asimismo, se constata el uso político-electoral por parte de la AF utilizando la bandera de desigualdad que sufren en términos de las aportaciones al PIB que estos hacen y el dinero que reciben por parte de la federación. En ese sentido, la figura 3 muestra que esta autopercepción que la AF tiene sobre su peso en el PIB nacional es equivocada, pues salvo por los estados de Nuevo León, Jalisco y Guanajuato el resto de los estados no se encuentra entre el primer cuartil de entidades con mayor participación en la producción nacional. De hecho, Aguascalientes suele ser, según datos de la contabilidad nacional, y a pesar de su vocación industrial, el estado que menos aporta al PIB nacional.

Figura 3. Participación (%) estatal al PIB nacional a precios corrientes



Nota. Elaboración propia con datos de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020).

Por tanto, dichas críticas sobre las aportaciones al PIB nacional que los estados de la AF hacen y lo que reciben a través de transferencias federales resulta contradictorio, pues al ser ellos parte de los estados con mayor dinamismo económico, estos tienen más contribuyentes y capacidad para recaudar impuestos, especialmente de las empresas en los estados que se asumen con vocación industrial y productiva como Nuevo León, Jalisco, Coahuila, Guanajuato y Aguascalientes, sin embargo, han preferido mantener una dependencia de los recursos formalizados en detrimento de sus sistema fiscal.

Asimismo, algunos estados de la AF en lugar de dar solución a sus débiles sistemas han decidido hacer uso de deuda para cumplir con las obligaciones sociales y financieras. En 2021 la Auditoría Superior de la Federación (ASF) determinó que los adeudos fiscales en los estados se duplicaron en los últimos 10 años, esto es, pasaron de ser 314 mil 664.5 millones de pesos a 637 mil 274.6 millones de pesos, destacando entre los estados con las mayores tasas de crecimientos de deuda Coahuila y Chihuahua (miembros de la AF), y otros estados como Zacatecas, Campeche, Morelos, y Yucatán (La Jornada, 2021, pág. 2).

Conclusiones

A pesar de las críticas al modelo de federalismo fiscal es un hecho que este tiene más ventajas que inconvenientes y continua vigente, pues permite armonizar y dar un marco de acción a la recaudación de los impuestos y la repartición de recursos entre la federación, estados y municipios. Es necesario reconocer que la necesidad, al menos en el caso mexicano, de adoptar el modelo de federalismo fiscal obedece a condiciones históricas donde en el génesis de México como país se dio prioridad a fortalecer los lazos políticos entre las entidades, pasando por esfuerzos por fortalecer la hacienda pública, hasta la actualidad donde se busca un modelo de pesos y contrapesos para hacer de la recaudación un instrumento de desarrollo y crecimiento económicos.

Es un hecho que este modelo es susceptible de mejorarse siempre que el contexto político, económico y social lo permita. En ese sentido, será necesario reconocer y aprovechar la posibilidad de procesos de mutuo acuerdo y voluntades entre municipios-estados-federación. En el caso de la Alianza Federalista su posición pareciera más la de un posicionamiento de agenda electoral como oposición que de realmente un interés por abandonar el pacto fiscal, pues como se observó en los datos, salvo por el caso de Nuevo León, que podría considerarse y discutirse su probable independencia fiscal, el resto de las entidades de la AF están lejos de poder tener ingresos autónomos.

Referencias bibliográficas

- Alianza Federalista. (2020). *Alianza Federalista en pos de un federalismo equitativo y solidario: revisar el Sistema de Coordinación Fiscal en conjunto no significa abandonar la idea de la nación*. sl: autor. Recuperado el 05 de Septiembre de 2020, de <https://alianzafederalista.org/comunicacion/Comunicados/27/Alianza-Federalista-en-pos-de-un-federalismo-equitativo-y-solidario;-revisar-el-Sistema-de-Coordinaci%C3%B3n-Fiscal-en-su-conjunto-no-significa-abandonar-la-idea-de-naci%C3%B3n>
- Alianza Federalista. (2020). *Queda Instalado el Secretariado Técnico de la Alianza Federalista*. Chihuahua: autor. Recuperado el 02 de Septiembre de 2022, de <https://alianzafederalista.org/comunicacion/Comunicados/39/Queda-instalado-el-Secretariado-T%C3%A9cnico-de-la-Alianza-Federalista>
- Alianza Federalista. (23 de Febrero de 2023). *Alianza Federalista*. Obtenido de Sobre la Alianza Federalista: <https://alianzafederalista.org/nosotros/index.html>
- Alianza Federalista. (sf). *Compromisos*. sl: autor. Recuperado el 02 de Septiembre de 2022, de <https://alianzafederalista.org/compromisos/index.html>
- Anton, T. (1998). *American Federalism and Public Policy: How the System Works*. New York, Estados Unidos: Random House. Recuperado el 09 de Septiembre de 2022
- Balanguer, T., & Brun, I. (2013). Política presupuestaria y elecciones. *Auditoría Pública*(60), 65-72. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/94950/60897.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bandala, A. (2016). Neoliberalismo, instituciones de salud pública en México y respuesta al VIH en Puebla. *Intersticios sociales*(12). Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-49642016000200010
- Baranda, A., Briones, P., & Escalante, J. (26 de Octubre de 2020). Pide Alianza Federalista cerrar filas por PEF 2021. *Reforma*, pág. sp. Recuperado el 05 de Septiembre de 2022, de https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/pide-alianza-federalista-cerrar-filas-por-pef-2021/ar2057999?referer=7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--
- Burgoa, I. (1991). *Derecho Constitucional Mexicano* (Octava ed.). Ciudad de México: Porrúa S.A. Recuperado el 07 de Septiembre de 2022
- Bustelo, E. (1991). La producción del estado de malestar. Ajuste y política social en América Latina. *Salud Pública de México*, 33(3), 215-226. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/106/10633303.pdf>
- Cámara de Diputados. (1978). *Ley de Coordinación Fiscal*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 18 de Septiembre de 2022, de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/31_300118.pdf
- Cámara de Diputados. (1978). *Ley del Impuesto al Valor Agregado*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 16 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIVA.pdf>
- Cámara de Diputados. (1980). *Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 16 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIEPS.pdf>
- Cámara de Diputados. (1981). *Código Fiscal de la Federación*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 17 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CFE.pdf>
- Cámara de Diputados. (2008). *Ley General de Contabilidad Gubernamental*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 20 de Septiembre de 2022, de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCG_300118.pdf
- Cámara de Diputados. (2013). *Ley del Impuesto Sobre la Renta*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 17 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf>
- Castañeda, R. (2003). Antecedentes del Sistema Nacional de Coordinación Fiscal. *INDETEC federalismo hacendario*, 1-20. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de https://www.sncf.gob.mx/delivery?srv=1&repo=1&path=/Antecedentes/Antecedentes_SNCF.pdf
- Cejudo, G. (5 de Noviembre de 2020). Alianza federalista: cronología de un desencuentro. *Nexos*, pág. sp. Recuperado el 04 de Septiembre de 2022, de <https://federalismo.nexos.com.mx/2020/11/alianza-federalista-cronologia-de-un-desencuentro/>
- Chacón, R., & Reyes, D. (18 de Abril de 2020). Van 4 Estados contra Pacto. *Reforma*, pág. sp. Recuperado el 03 de Septiembre de 2022, de https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/van-4-estados-contra-pacto/ar1922712?referer=7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--

- Comisión de Pacto Federal. (1994). *Fortalecimiento del Pacto Federal*. Ciudad de México: H. Senado de la República. Recuperado el 06 de Septiembre de 2022, de https://micrositios.senado.gob.mx/BMO/files/Fortalecimiento_del_pacto.pdf
- Congreso de la Unión. (1836). *Constitución de 1836*. Ciudad de México: autor. Recuperado el 12 de Septiembre de 2022, de https://www.diputados.gob.mx/biblioteca/bibdig/const_mex/const_1836.pdf
- Congreso de la Unión. (1857). *Constitución Política de la República Mexicana de 1857*. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Recuperado el 12 de Septiembre de 2022, de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/legislacion/federal/historicos/1857.pdf>
- Congreso de la Unión. (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 13 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2015). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal de 1 año 2015*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 20 de Septiembre de 2022, de <http://web3.poderjudicialags.gob.mx/Resources/Oficialia%20Mayor/DIRECTO%20ESTATAL/2015/INF%20ANUAL/Ley%20de%20Ingresos%202015.pdf>
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal 2018*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/EDO-18-143.pdf>
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal 2019*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://tramites.aguascalientes.gob.mx/download/normateca/D20190107100255_Ley%20de%20Ingresos%202019.pdf
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal 2020*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://tramites.aguascalientes.gob.mx/download/normateca/D20200102102405_Ley%20de%20ingresos%20para%20el%20Estado%20de%20Aguascalientes%202020.pdf
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal 2021*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/EDO-18-170.pdf>
- Congreso del Estado de Aguascalientes. (2022). *Ley de Ingresos del Estado de Aguascalientes para el Ejercicio Fiscal 2022*. Aguascalientes: Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/EDO-18-176.pdf>
- Congreso del Estado de Chihuahua. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Chihuahua para el Ejercicio Fiscal 2018*. Chihuahua: Periódico Oficial del Estado de Chihuahua. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://ihacienda.chihuahua.gob.mx/xfiscal/indtfisc/ley_ingresoschih2018.pdf
- Congreso del Estado de Chihuahua. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Chihuahua para el Ejercicio Fiscal 2019*. Chihuahua: Periódico Oficial del Estado de Chihuahua. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyesIngresos/archivos/1441.pdf>
- Congreso del Estado de Chihuahua. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Chihuahua para el Ejercicio Fiscal 2020*. Chihuahua: Periódico Oficial del Estado de Chihuahua. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyesIngresos/archivos/1637.pdf>
- Congreso del Estado de Chihuahua. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Chihuahua para el Ejercicio Fiscal 2021*. Chihuahua: Periódico Oficial del Estado de Chihuahua. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyesIngresos/archivos/1720.pdf>
- Congreso del Estado de Chihuahua. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Chihuahua para el Ejercicio Fiscal 2022*. Chihuahua: Periódico Oficial del Estado de Chihuahua. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyesIngresos/archivos/1871.pdf>
- Congreso del Estado de Coahuila. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Coahuila para el Ejercicio Fiscal 2018*. Saltillo: Periódico Oficial del Estado de Coahuila. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://congresocoahuila.gob.mx/transparencia/03/Leyes_Coahuila/coa932018.doc
- Congreso del Estado de Coahuila. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Coahuila para el Ejercicio Fiscal 2019*. Saltillo: Periódico Oficial del Estado de Coahuila. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.sefincoahuila.gob.mx/contenido/docs/leyingresos/LEY%20DE%20INGRESOS%202019.pdf>
- Congreso del Estado de Coahuila. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Coahuila para el Ejercicio Fiscal 2020*. Saltillo: Periódico Oficial del Estado de Coahuila. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de

- <https://www.sefincoahuila.gob.mx/sistemas/iipe/archivos/2020/5%20Ley%20de%20Ingresos%202020%20Congreso.pdf>
- Congreso del Estado de Coahuila. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Coahuila para el Ejercicio Fiscal 2021*. Saltillo: Periódico Oficial del Estado de Coahuila. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.sefincoahuila.gob.mx/contenido/docs/leyingresos/ley%20de%20ingresos%202021.pdf>
- Congreso del Estado de Coahuila. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Coahuila para el Ejercicio Fiscal 2022*. Saltillo: Periódico Oficial del Estado de Coahuila. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.sefincoahuila.gob.mx/contenido/docs/2.%20LEY%20DE%20INGRESOS%20PARA%20EL%20ESTADO%20DE%20COAHUILA%20DE%20ZARAGOZA%202022.pdf>
- Congreso del Estado de Colima. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Colima para el Ejercicio Fiscal 2018*. Manzanillo: Periódico Oficial del Estado de Colima. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_5b6061f7453cd_INGRESOS_2018.pdf
- Congreso del Estado de Colima. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Colima para el Ejercicio Fiscal 2019*. Manzanillo: Periódico Oficial del Estado de Colima. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_5cc85b80772e5_LEY_DE_INGRESOS_PARA_EL_ESTADO_DE_COLIMA_2019.pdf
- Congreso del Estado de Colima. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Colima para el Ejercicio Fiscal 2020*. Manzanillo: Periódico Oficial del Estado de Colima. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/2_LeyIngresos_EdoCol_2020.pdf
- Congreso del Estado de Colima. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Colima para el Ejercicio Fiscal 2021*. Manzanillo: Periódico Oficial del Estado de Colima. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_60143ee1905e1_LEY_DE_INGRESOS_DEL_ESTADO_DE_COLIMA_PARA_EL_EJERCICIO_FISCAL_2021.pdf
- Congreso del Estado de Colima. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Colima para el Ejercicio Fiscal 2022*. Manzanillo: Periódico Oficial del Estado de Colima. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://www.congresocol.gob.mx/web/Sistema/uploads/LegislacionEstatal/LeyesEstatales/Ingresos_Edo_2022.pdf
- Congreso del Estado de Durango. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Durango para el Ejercicio Fiscal 2018*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Durango. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <http://congresodurango.gob.mx/Archivos/lxvii/Leyes%20de%20Ingreso%202018/LEY%20DE%20INGRESOS%20DEL%20ESTADO%202018.pdf>
- Congreso del Estado de Durango. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Durango para el Ejercicio Fiscal 2019*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Durango. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://congresodurango.gob.mx/Archivos/LXVIII/LeyesdeIngreso/2019/LEY_%20DE_%20INGRESOS_%20DURANGO_%20ESTADO.pdf
- Congreso del Estado de Durango. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Durango para el Ejercicio Fiscal 2020*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Durango. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://congresodurango.gob.mx/Archivos/LXVIII/LeyesdeIngreso/2020/INGRESOSESTADO.pdf>
- Congreso del Estado de Durango. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Durango para el Ejercicio Fiscal 2021*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Durango. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://congresodurango.gob.mx/Archivos/LXVIII/LeyesdeIngreso/2021/ESTADO%20DURANGO%202021.pdf>
- Congreso del Estado de Durango. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Durango para el Ejercicio Fiscal 2022*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Durango. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://congresodurango.gob.mx/Archivos/LXIX/LEYESINGRESOS/2022/INGRESOSDELESTADO.pdf>
- Congreso del Estado de Guanajuato. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Guanajuato para el Ejercicio Fiscal 2018*. Guanajuato: Periódico Oficial del Estado de Guanajuato. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://finanzas.guanajuato.gob.mx/doc/mrf/Ley_de_Ingresos_para_el_Estado_de_Guanajuato2018.pdf
- Congreso del Estado de Guanajuato. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Guanajuato para el Ejercicio Fiscal 2019*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Guanajuato. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://finanzas.guanajuato.gob.mx/doc/mrf/DECRETO_51_LEY_DE_INGRESOS_ESTADO_2019.pdf
- Congreso del Estado de Guanajuato. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Guanajuato para el Ejercicio Fiscal 2020*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Guanajuato. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://finanzas.guanajuato.gob.mx/c_legislacion/doc/leyes_estatales/LEY_DE_INGRESOS_DEL_ESTADO_DE_GUANAJUATO_PARA_EL_EJERCICIO.pdf

- Congreso del Estado de Guanajuato. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Guanajuato para el Ejercicio Fiscal 2021*. Durango: Periódico Oficial del Estado de Guanajuato. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://finanzas.guanajuato.gob.mx/doc/mrf/leyingresos2021.pdf>
- Congreso del Estado de Guanajuato. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Guanajuato para el Ejercicio Fiscal 2022*. Guanajuato: Periódico Oficial del Estado de Guanajuato. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://congresogto.s3.amazonaws.com/uploads/reforma/pdf/3411/LIEG_REF_21JUL2022.pdf
- Congreso del Estado de Jalisco. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Jalisco para el Ejercicio Fiscal 2018*. Guadalajara: Periódico Oficial del Estado de Jalisco. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://transparenciafiscal.jalisco.gob.mx/sites/default/files/12-26-17-iv_0.pdf
- Congreso del Estado de Jalisco. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Jalisco para el Ejercicio Fiscal 2019*. Guadalajara: Periódico Oficial del Estado de Jalisco. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://transparenciafiscal.jalisco.gob.mx/sites/default/files/ley_de_ingresos_2019.pdf
- Congreso del Estado de Jalisco. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Jalisco para el Ejercicio Fiscal 2020*. Guadalajara: Periódico Oficial del Estado de Jalisco. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/12-27-19-edicion_especial.pdf
- Congreso del Estado de Jalisco. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Jalisco para el Ejercicio Fiscal 2021*. Guadalajara: Periódico Oficial del Estado de Jalisco. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://congresoweb.congreso.jalisco.gob.mx/infoplej/agendakioskos/documentos/sistemaintegral/estados/118963.pdf>
- Congreso del Estado de Jalisco. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Jalisco para el Ejercicio Fiscal 2022*. Guadalajara: Periódico Oficial del Estado de Jalisco. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://sepbr.jalisco.gob.mx/files/Preciudadano/Autorizado2022/Ley%20de%20ingresos%2012-18-21-cvii_0.pdf
- Congreso del Estado de Michoacán. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Michoacán para el Ejercicio Fiscal 2018*. Morelia: Periódico Oficial del Estado de Michoacán. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://secfinanzas.michoacan.gob.mx/download/LEY-DE-INGRESOS-DEL-ESTADO-2018.pdf>
- Congreso del Estado de Michoacán. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Michoacán para el Ejercicio Fiscal 2019*. Morelia: Periódico Oficial del Estado de Michoacán. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://secfinanzas.michoacan.gob.mx/download/ley_de_ingresos_del_estado_2019/14a-5318-LEY-DE-INGRESOS-2019.pdf
- Congreso del Estado de Michoacán. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Michoacán para el Ejercicio Fiscal 2020*. Morelia: Morelia. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de http://laipdocs.michoacan.gob.mx/?wpfb_dl=266426
- Congreso del Estado de Michoacán. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Michoacán para el Ejercicio Fiscal 2021*. Morelia: Periódico Oficial del Estado de Michoacán. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://secfinanzas.michoacan.gob.mx/download/Ley-de-Ingresos-del-Estado-de-Michoacan-2021.pdf>
- Congreso del Estado de Michoacán. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Michoacán para el Ejercicio Fiscal 2022*. Morelia: Periódico Oficial del Estado de Michoacán. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <http://congresomich.gob.mx/file/Gaceta-019-C-Ley-de-Ingresos-23-12-2021.pdf>
- Congreso del Estado de Nuevo León. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Nuevo León para el Ejercicio Fiscal 2018*. Monterrey: Periódico Oficial del Estado de Nuevo León. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/leyes/pdf/LEY%20DE%20INGRESOS%20DEL%20ESTADO%20PARA%20EL%202018.pdf?2017-12-29
- Congreso del Estado de Nuevo León. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Nuevo León para el Ejercicio Fiscal 2019*. Monterrey: Periódico Oficial del Estado de Nuevo León. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://www.cedhnl.org.mx/somos/legislacion/LEY-DE-INGRESOS-DEL-ESTADO-PARA-EL-2019.pdf>
- Congreso del Estado de Nuevo León. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Nuevo León para el Ejercicio Fiscal 2020*. Monterrey: Periódico Oficial del Estado de Nuevo León. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/leyes/pdf/LEY%20DE%20INGRESOS%20DEL%20ESTADO%202020.pdf
- Congreso del Estado de Nuevo León. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Nuevo León para el Ejercicio Fiscal 2021*. Monterrey: Periódico Oficial del Estado de Nuevo León. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/leyes/pdf/LEY%20DE%20INGRESOS%20DEL%20ESTADO%20DE%20NUEVO%20LEON%20PARA%20EL%20EJERCICIO%20FISCAL%202021.pdf
- Congreso del Estado de Nuevo León. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Nuevo León para el Ejercicio Fiscal 2022*. Monterrey: Periódico Oficial del Estado de Nuevo León. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de https://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/leyes/pdf/LEY%20DE%20INGRESOS%20DEL%20ESTADO%20DE%20NUEVO%20LEON%20PARA%20EL%20EJERCICIO%20FISCAL%202022.pdf

- Congreso del Estado de Tamaulipas. (2017). *Ley de Ingresos del Estado de Tamaulipas para el Ejercicio Fiscal 2018*. Ciudad Victoria: Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://transparencia.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2018/01/Ley-de-Ingresos-2018.pdf>
- Congreso del Estado de Tamaulipas. (2018). *Ley de Ingresos del Estado de Tamaulipas para el Ejercicio Fiscal 2019*. Ciudad Victoria: Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://transparencia.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2019/01/LEY-DE-INGRESOS-2019.pdf>
- Congreso del Estado de Tamaulipas. (2019). *Ley de Ingresos del Estado de Tamaulipas para el Ejercicio Fiscal 2020*. Ciudad Victoria: Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://transparencia.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2020/01/LEY-DE-INGRESOS-2020.pdf>
- Congreso del Estado de Tamaulipas. (2020). *Ley de Ingresos del Estado de Tamaulipas para el Ejercicio Fiscal 2021*. Ciudad Victoria: Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <https://transparencia.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2021/04/Ley-de-Ingresos-del-Estado-de-Tamaulipas-para-el-ejercicio-fiscal-2021.pdf>
- Congreso del Estado de Tamaulipas. (2021). *Ley de Ingresos del Estado de Tamaulipas para el Ejercicio Fiscal 2022*. Ciudad Victoria: Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de <http://finanzas.tamaulipas.gob.mx/uploads/2022/convocatoria/04/Anexo%203%20Decreto%20de%20Autorizacio%20n.pdf>
- Congreso General Constituyente. (1824). *Constitución Federal de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México: autor. Recuperado el 13 de Septiembre de 2022, de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/legislacion/federal/historicos/1824.pdf>
- El Financiero. (29 de Noviembre de 2022). Nadie escapa del SAT: Estas empresas tuvieron que pagar impuestos. *El Financiero*. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2022/11/29/nadie-escapa-del-sat-estas-empresas-tuvieron-que-pagar-impuestos/>
- El Universal. (29 de Octubre de 2020). Samuel García explica qué es el convenio fiscal... ¿con un pan de muerto? *El Universal*, pág. sp. Recuperado el 01 de Septiembre de 2022, de <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/samuel-garcia-explica-que-es-el-convenio-fiscal-con-un-pan-de-muerto>
- Eleazar, D. (1991). *Exploring Federalism*. Tuscaloosa, Estados Unidos: University of Alabama Press. Recuperado el 06 de Septiembre de 2022
- Flores, L. (09 de Junio de 2021). Samuel García propone nuevo convenio fiscal con la Federación. *El Economista*, pág. sp. Recuperado el 09 de Septiembre de 2022, de <https://www.economista.com.mx/estados/Samuel-Garcia-propone-nuevo-convenio-fiscal-con-la-Federacion-20210609-0112.html>
- García, S. (20 de Abril de 2020). Pide MC sacar a NL de Pacto Fiscal. (G. Reforma, Entrevistador) Monterrey, Nuevo León, México: Grupo Reforma. Recuperado el 01 de Septiembre de 2022, de https://www.youtube.com/watch?v=IOOlrivx4HQ&ab_channel=GrupoREFORMA
- Grupo Legislativo PMC. (2019). NL debe recibir mínimo el 50% de la Federación: Samuel. (pág. Sin paginas). Monterrey: H. Congreso del Estado de Nuevo León. Recuperado el Septiembre de Septiembre de 2022, de <https://www.hcnl.gob.mx/glpmc/2019/04/nl-debe-recibir-minimo-el-50-de-la-federacion-samuel.php>
- Gudiño, J. (sd de sm de sf). Presupuesto Basado en Resultados (PbR). *BDO México*, pág. sp. Recuperado el 21 de Septiembre de 2022, de [https://www.bdomexico.com/es-mx/servicios/consultoria/consultoria-en-sector-publico/presupuesto-basado-en-resultados-\(pbr\)#:~:text=El%20PbR%20es%20una%20metodolog%C3%ADa,de%20los%20niveles%20de%20gobierno%20\(](https://www.bdomexico.com/es-mx/servicios/consultoria/consultoria-en-sector-publico/presupuesto-basado-en-resultados-(pbr)#:~:text=El%20PbR%20es%20una%20metodolog%C3%ADa,de%20los%20niveles%20de%20gobierno%20()
- Hamilton, A., Madison, J., & Jay, J. (1943). *El Federalista*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica .
- Hernández, F., & Iturríbarria. (2003). Tres trampas del federalismo fiscal mexicano. *Centro de Investigación y Docencia Económicas*, 1-22. Recuperado el 12 de Septiembre de 2022, de <http://aleph.academica.mx/jspui/handle/56789/3867>
- Homedes, N., & Ugalde, A. (2005). Las reformas de salud neoliberales en América Latina: Una visión crítica a través de dos estudios de caso. *Panam Salud Publica*, 17(3), 210-220. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2005.v17n3/210-220/es>
- Instituto de Investigaciones Jurídicas. (sf). *Texto original de la Constitución de 1917 y de las reformas publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 5 de febrero de 1917 al 1o. de junio de 2009*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 18 de Septiembre de 2022, de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2802/8.pdf>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (sd de sm de 2020). *Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. Año base 2013*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.aspx?pr=17&vr=6&in=2&tp=20&wr=1>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2011). *Manual de Transferencias Federales para Municipios*. Ciudad de México: Secretaría de Educación. Recuperado el 18 de Septiembre de 2022, de https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Manual_Transferencias_Municipios.pdf
- La Jornada. (10 de Octubre de 2021). Estados no recaudan, pero sí piden. *La Jornada*, pág. 2. Recuperado el 20 de Septiembre de 2022, de <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/10/opinion/estados-no-recaudan-pero-si-piden/>
- LaPolíticaOnline. (06 de Noviembre de 2020). Samuel García propone salir del pacto fiscal y crear un SAT estatal. *LaPolíticaOnline*, pág. sp. Recuperado el 01 de Septiembre de 2022, de <https://www.lapoliticaonline.com/mexico/n-133163-samuel-garcia-propone-salir-del-pacto-fiscal-y-crear-un-sat-estatal/>
- León-Cázares, F., Cernas, D., & Ortiz, A. E. (2021). Transferencias federales y eficiencia gubernamental local. *Intersticios sociales*, 149-172. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=421769000007>
- Martínez, M. (2015). El triunfo del PRI en Sonora. Proceso electoral 2015. *El Cotidiano*(193), 37-50. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32541386005.pdf>
- Musgrave, R. (1959). *The theory of public finance : a study in public economy*. New York: McGraw-Hill. Recuperado el 12 de Septiembre de 2022, de <https://www.worldcat.org/es/title/theory-of-public-finance-a-study-in-public-economy/oclc/243503>
- Oates, W. (1999). An Essay on Fiscal Federalism. *Journal of Economic Literature*, 37(3), 1120-1149. doi:10.1257/jel.37.3.1120
- Oates, W. (2002). Assignment of Responsibilities and Fiscal. *The Forum of Federations*, 74-94. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de <https://forumfed.org/document/assignment-of-responsibilities-fiscal-federalism/>
- Piña, M. (2012). La ética y la crisis de la salud en México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 38(3), 463-470. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://www.scielosp.org/pdf/rcsp/2012.v38n3/463-470/es>
- Pliego, I. (2010). El federalismo fiscal en México: entre la economía y la política. *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*(84), 1-30. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de http://www3.diputados.gob.mx/camara/content/download/238237/665025/file/Federalismo_Fiscal_Mexico_doct_o84.pdf
- Reyes, E. (2006). Federalismo, sociedad y globalidad: los retos del porvenir. *Política y Cultura*(25), 27-45. Recuperado el 09 de Septiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/267/26702503.pdf>
- Reyes, M. (2004). Las Convenciones Nacionales Fiscales y Hacendarias 1925, 1933, 1947 y 2004. *Servicio de investigación y Análisis*, 1-41. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de <https://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/se/SIA-DEC-ICS-05-04.pdf>
- Rosas, S. (2018). Determinantes estructurales del voto en contienda electoral por el poder ejecutivo de Sonora (2009 y 2015). *El Colegio de Sonora*. Recuperado el 23 de Febrero de 2023, de <https://repositorio.colson.edu.mx/handle/2012/44298>
- Sharma, C. (2003). The Federal Approach to Fiscal Decentralisation: Conceptual Contours for Policy Makers. *Munich Personal RePEc Archive*, 169-188. Obtenido de https://mpra.ub.uni-muenchen.de/178/1/MPRA_paper_178.pdf
- Sharma, C. (2005). When Does decentralization deliver? The Dilemma of Design. *South Asian Journal of Socio-Political Studies*, 6(1), 38-45. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=942456
- Sharma, C. (2012). Beyond Gaps and Imbalances: Restructuring the Debate on Intergovernmental Fiscal Relations. *Public Administration*, 90(1), 99-128. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de https://www.academia.edu/748834/Beyond_Gaps_and_Imbalances_Restructuring_the_Debate_on_Intergovernmental_Fiscal_Relations

MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE FLAVONOIDES EN LA GRANADA (*PUNICA GRANATUM*): UNA REVISIÓN

Fernando Ayala-Flores¹, Ma. del Carmen Chávez-Parga²,
Juan Carlos González-Hernández³

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 04/08/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen.- La granada es un alimento ampliamente consumido en el mundo, debido a sus características nutricionales y a que contiene una elevada cantidad de polifenoles que le confieren una gran actividad antioxidante y debido a su capacidad para transferir electrones a agentes oxidantes aporta efectos beneficiosos en la salud humana entre los que se encuentran sus propiedades anticancerígenas, antidiabéticas, antiinflamatorias, antihipertensión, antifibróticas, antienvjecimiento y cardiovasculares. Estos compuestos se pueden extraer de múltiples formas y estos métodos de extracción se suelen clasificar en dos grupos: convencionales (extracción Soxhlet, maceración e hidrodestilación) y no convencionales (extracciones asistidas por ultrasonido, microondas y presión), sin embargo, el método seleccionado dependerá del uso que se le dará al extracto. Una vez obtenidos los extractos, los flavonoides se pueden caracterizar estructuralmente. Este procedimiento analítico dependerá del interés del análisis que incluye técnicas cromatográficas (cromatografía de gases, cromatografía en capa fina y cromatografía líquida de alta eficiencia) y espectrofotométricas (espectroscopia UV-Vis, espectroscopia de masas, espectroscopia de resonancia magnética nuclear, entre otras).

Palabras Clave: Agroindustria, análisis químico, efectos fisiológicos, fisiología vegetal.

FLAVONOID CHARACTERIZATION METHODS IN POMEGRANATE (*PUNICA GRANATUM*): A REVIEW

Abstract.- Pomegranate is a widely consumed food in the world, due to its nutritional characteristics and because it contains a high amount of polyphenols that give it a high antioxidant activity and due to its ability to transfer electrons to oxidizing agents it provides beneficial effects on human health among which are its anticancer, antidiabetic, anti-inflammatory, antihypertensive, antifibrotic, antiaging and cardiovascular properties. These compounds can be extracted in multiple ways and these extraction methods are usually classified into two groups: conventional (Soxhlet extraction, maceration and hydrodistillation) and unconventional (ultrasound, microwave and pressure assisted extractions), however, the method selected will depend on the intended use of the extract. Once the extracts are obtained, the flavonoids can be structurally characterized. This analytical procedure will depend on the interest of the analysis, which includes chromatographic techniques (gas chromatography, thin layer chromatography and high performance liquid chromatography) and spectrophotometric techniques (UV-Vis spectroscopy, mass spectroscopy, nuclear magnetic resonance spectroscopy, among others).

Keywords: Agroindustry, chemical analysis, physiological effects, plant physiology.

Introduction

Nowadays the consumption of food by the general population is carried out in a more selective way due to the knowledge about nutrition and how this can affect your life (Tenorio & Tenorio, 2021), that is why it is of greater importance to know the chemical composition of the food.

Pomegranate is a well-known and widely consumed fruit in the world, which is rich in polyphenols that give it a high antioxidative activity (Fahmy et al., 2020). It is also a low-calorie fruit with excellent nutritional characteristics (high content of carbohydrates, protein, fiber and minerals) (Magangana et al., 2020), which draws the attention of the population that consumes it. That is the reason why the production of pomegranates currently exceeds 2 billion tons per year (Pienaar & Barends-Jones, 2021). India, the country from which the pomegranate comes from, has been the world leader in the production of pomegranates for 8 years and is one of the main exporters of pomegranates, whether fresh or treated (Bustamante, 2019). Due to its high antioxidant activity, pomegranate possess anti-aging and anti-

¹ Estudiante Doctorado en Ciencias. Facultad de Química- UMSNH. 2026912b@umich.mx

² Profesor de tiempo completo. Facultad de Química- UMSNH. cparga@umich.mx

³ Profesor de tiempo completo. TecNM / Instituto Tecnológico de Morelia. juan.gh@morelia.tecnm.mx (**Corresponding autor**).

cancer properties; therefore, its detection is of interest to the industry. Most of the natural antioxidants are polyphenolic compounds including polyphenolic acids, flavonoids and anthocyanins (Karak, 2019).

Flavonoids have a high affinity for some proteins and for other biological macromolecules, such as hormones and nucleic acids, and for divalent ions of metals (Vijayakumar et al., 2020). They also have a great capacity to act as free radical receptors, and catalyze the transfer of electrons, which gives it a high antioxidant power. Plants use synthesized flavonoids for a multitude of functions, including signaling, attracting pollinators, protection from ultraviolet light, and protection against attack by different microorganisms (Mathesius, 2018). These compounds are classified into flavones, flavonoids, isoflavones, flavanones, flavonoids, and anthocyanidins (Shen et al., 2022).

These characteristics of the mentioned compounds bring beneficial effects to human health (Tiwari & Husain, 2017 Sarkar et al., 2022). That is why the interest in the consumption of flavonoids has increased and explain why these types of compounds have an important role within functional foods (Premathilaka et al., 2022).

The pomegranate in the last years has attracted the interest of researchers due to the high content of compounds products of the secondary metabolism of the fruit and that have various applications including medical, food and cosmetic applications (Kori et al., 2020; Arlotta et al., 2020), this review article presents the main methods of extraction, purification and characterization of flavonoids applied to pomegranate extracts.

Chemical constituents of pomegranate

About the half of the entire fruit weight corresponds to the peel, a vital supply of bioactive compounds like flavonoids, phenolics, proanthocyanidins, and ellagitannins, minerals, primarily metal, phosphorus, sodium, magnesium, nitrogen and calcium, and polysaccharides (Kushwaha et al., 2013). The eating part of the pomegranate which it's about the fifty percent of the fruit, contains eighty percent arils and twenty percent seeds (Melgarejo et al., 2020). Arils contain eighty-five percent water, ten percent total sugars, mainly fruit sugar like aldohexose, and 1.5 percent organic acids, like vitamin C and malic acid, pectin and bioactive compounds like flavonoids, anthocyanins and other phenolics compounds (Sreekumar et al., 2014).

One of the most teams of compounds to blame for many of the purposeful properties of the fruits, among which is the pomegranate fruit, are polyphenols compounds in any of its different structures (Cervantes et al., 2022).

The term "phenolics" covers an enormous and various cluster of chemical compounds. These molecules will classify in different ways (Truzzi et al., 2021). One among them is to classify them consistent with the quantity of carbons within the molecule as shown in table 1.

Table 1. Classification of the phenolic compounds (taken and modified from Truzzi et al., 2021).

<i>Chemical structure</i>	<i>Class</i>
<i>C6</i>	simple phenolics
<i>C6-C1</i>	phenolic acids and related compounds
<i>(C6-C1)_n</i>	hydrolyzable tannins
<i>C6-C2</i>	acetophenones and phenylacetic acids
<i>C6-C3</i>	hydroxycinnamic acid and coumarins
<i>(C6-C3)₂</i>	lignans
<i>C6-C1- C6</i>	benzophenones and xanthenes
<i>C6-C2- C6</i>	stilbenes
<i>C6-C3- C6</i>	flavonoids
<i>(C6-C3- C6)_n</i>	proanthocyanidins

Note. This table shows the classification of polyphenols according to their chemical structure and the number of carbons present, as well as the name assigned to them.

Flavonoids

Within the phenols, the group that stands out the most are the flavonoids, these molecules are natural low molecular weight (MW) compounds, which share a common diphenylpyrans skeleton (C6-C3-C6), made up of two aromatic rings (A and B) linked by a three-carbon aliphatic chain, which can combine with one oxygen and two carbons from ring A, to form a third ring, called ring C, of the pyran type, or to a lesser extent of the furan type (Safe et al., 2021). In plants, flavonoids have a multitude of functions including the signaling, attracting pollinators, protecting from UV

light and phytopathogens (Miklavcic, 2019). These compounds can be classified into anthocyanidins, flavonones, isoflavones, flavanols and flavones (Brodowska, 2017).

A significant number of flavonoids are identified to have health benefits to humans (Ballard & Junior, 2019). They include anti-inflammation, anti-cancer, cardiovascular and neurological protective functions (Miklavcic, 2019).

Extraction methods

It is solely attainable to conduct additional separation, identification, associated characterization of polyphenol compounds and then proceed with an applicable extraction method.

There are different extraction strategies which will be accustomed extract bioactive compounds from plants. This may rely on the utilization that may tend to the extract once processed (Alara et al., 2021).

The extraction strategies of bioactive compounds may be classified into two groups: conventional and unconventional ways (Jahromi, 2019).

Conventional strategies are based on the extraction power of various solvents in use and the application of warmth and/or intermixture. These strategies are: Soxhlet Extraction, Maceration and Hydrodistillation (Osorio, 2020).

Unconventional strategies have arisen as ecological alternatives to the standard strategies, like ultrasound, microwave, and pressure aided extractions, applied with different types of solvents or even without the use of them, to scale back the energetic cost and solvent demand (Hidalgo & Almajano, 2017).

The main objective of those new strategies is to scale back the extraction time and thus increase its efficiency in terms of milligrams extracted per hour of extraction (Caldas et al., 2018), as shown in table 2.

Table 2. Flavonoid extraction in *Saussurea medusa* Maxim, using conventional and unconventional methods (taken and modified from Gao & Liu, 2005).

<i>Technique</i>	<i>Flavonoids % (w/w)</i>	<i>Time (hours)</i>	<i>Efficiency (mg/h)</i>
<i>Solvent a room temperature</i>	3.0%	24	.02
<i>Heat reflux</i>	3.9%	6	.13
<i>Soxhlet</i>	4.1%	20	.04
<i>Ultrasound</i>	3.5%	.5	1.4
<i>Microwave</i>	4.1%	.1	8.2

Note. The table shows the comparison in the efficiency of the extraction strategies, wherever it's determined that unconventional strategies (microwave and ultrasound) are favored during this section (Gao & Liu, 2005).

There is a statistical method which has the name of Response Surface Methodology (RSM), supported on a second-order polynomial model is sometimes used to see the most effective union of process specifications to confirm largest extraction effectiveness (Hasani et al., 2020). Consistent with the second order polynomial model, a response surface plot is created to analyze the optimum treatments and largest extraction efficiency. Once the experimental tests have been carried out, we can obtain data to observe the interaction between the process variables (Hidalgo & Almajano, 2017), once the structural characterization of the flavonoids present has been performed, this type of statistical techniques can help to correlate the type of compounds present with their beneficial properties.

Structural characterization of flavonoids

Many procedures applied to the analysis of flavonoids have been developed, which reflects the complexity of the analysis matrices and the diversity of scenarios that are presented in the analytical challenge (Jug et al., 2018). Therefore, the design of the analytical procedure will depend on the interest of the analysis. For example, in flavonoid profiling and quantification studies, the most useful approach has been chromatography, preferably chromatography efficiency (HPLC) due to the complexity of the matrix that normally is analyzed, and the structural diversity of the compounds present. On the other hand, when identification is required, the use of spectrometric techniques is necessary (Lysiuk & Hudz, 2017).

NMR spectroscopy is undoubtedly one of the tools most powerful available to scientists for characterization structural of organic compounds and of those whose structure is unknown (Silva, 2017). However, Mass spectroscopy and UV-Vis spectroscopy are useful tools in the confirmation of structures or in the identification of certain structural characteristics. Although UV-Vis spectroscopy has been displaced by other spectroscopic methods, it may be useful

in determining some structural characteristics of shape simple and with the use of more economic and affordable resources to the most labs (de Villiers et al., 2016).

Infrared and Raman spectroscopy, among others, have also been used for structural characterization purposes.

Techniques of Chromatography

Chromatography is predicated on the principle that when the molecules of a mixture are applied to a surface or enter a solid, the liquid stationary phase (stable phase) is separated from each other by moving with the help of a mobile phase. Factors effective for this separation method include molecular properties related to surface assimilation (liquid-solid), partitioning (liquid-solid), and changes in affinity or molecular weight (Coskun, 2016).

TLC (Thin layer chromatography)

Around the 1950's the use of paper chromatography was used on several occasions for the determination of phenolic compounds, mostly when flavonoids are involved, but it never came to replace thin layer chromatography (TLC). The above because it is a very simple and low-cost technique, in addition to offering great versatility in qualitative analysis of phenolic compounds from different samples with the use of suitable adsorbents and reagents (Poblocka et al., 2016). Thin-layer chromatography is a "solid-liquid adsorption" chromatography. A phase coated plate is used stationary (polyamide, silica gel, modified silica) of small thickness constant throughout the plate, supported by a plate that can be made of glass or some other support. The mobile phase is liquid and moves up the plate, dragging the components throughout it, causing the separation of the different compounds (Choma & Jesionek, 2015).

The most used mobile phase or eluents in TLC are petroleum ether, methylene chloride, ethyl acetate, cyclohexane, acetone, toluene, diethyl ether, among others; and the degree of elution of substances depends on both their polarity and the polarity of the eluent used (Córdova, 2017).

GC (Gas Chromatography)

At the beginning, the gas chromatography technique was intended for facilitate the determination of different polyphenols. However, as the sample must be gasified, it is necessary to resort to the derivation phase, so that once carried out for experimentation, it was extremely complicated to characterize these compounds (Viñas & Campillo, 2019).

The sample vaporizes and passes to the mobile phase. The different components of the sample to be analyzed are dispersed between the mobile phase and the stationary phase on the solid support (Coskun, 2016).

This technique is the one with the greatest capacity and sensitivity when analyzing volatile components. It usually works with components of lower molecular weight at 1000 g/mol and a maximum temperature of 400°C (Navarro et al., 2015).

According to the nature of the phase stationary we have two types of GC:

- Gas-solid chromatography.

- Gas-liquid chromatography

HPLC (High-performance liquid chromatography)

High performance liquid chromatography (HPLC) is one of the most common methods for characterizing polyphenolic compounds. With this chromatography technique it is feasible to carry out a structural and specific analysis, in addition to purifying numerous molecules of a sample in a short time. In this technique, the mobile phase passes through columns with a pressure below 400 atmospheres and with a high flow. The use of small particles (generally 5 micrometer particles are used) and the application of high pressure in the solvent flow rate will increase the power in the separation (Coskun, 2016).

The main components of an HPLC equipment are the following: a solvent tank, a high-pressure pump, the column, a detector, and a recorder. A device will help to detect some property of the eluent that will depend on its chemical composition, the detection is carried out continuously (Patil, 2017).

It's a sensitive and selective technique; it helps quantify isolated substances and is wide used for all categories of flavonoids (Mizzi et al., 2020).

Spectrophotometric techniques

UV-Vis spectroscopy (Ultraviolet-visible spectroscopy)

Molecular UV-Vis spectroscopy, like other spectroscopic techniques, is based on the study of the interaction of electromagnetic radiation with molecules. Energy of the electromagnetic radiation provokes of the UV-Vis region produces electronic transitions (electronic jumps) between a ground state and an excited state (Perkampus, 2013).

UV-Vis spectroscopy is frequently used in quantitative analysis since the Lambert-Beer law establishes a relationship directly proportional between absorbance and concentration of dilute solutions. However, in the case of flavonoids, have established simple experimental procedures, based on the use of bathochromic displacement reagents, which allow inferring structural characteristics (Madaci et al., 2022).

MS (Mass spectroscopy)

Mass spectrometry is an analytical technique that allows the identification of different molecules within a substance by ionizing the sample (Urban, 2016). The identification of the molecules is obtained after bombarding the sample with electrons, which results in the electronic loss of the molecules and their ionization. This results in a characteristic mass distribution (fingerprint) for each molecule (Sephton et al., 2018).

The need to convert neutral molecules into ions to perform the spectrum of masses has conditioned the development of various ionization methods (Awad et al., 2015). Electronic ionization and ionization by electrospray are two of the most common ionization methods used in the structural analysis of flavonoids (Sen et al., 2019). Electron ionization is a "hard" ionization method where a beam of electrons interacts with the molecule and favors the formation of a radical ion called molecular ion $M^{+\cdot}$, caused by the loss of an electron and the electrospray ionization method is frequently used in the analysis of non-volatile or heat-sensitive molecules, this method of ionization causes ionization of the molecule and produces little or no fragmentation, favoring the identification of the molecular mass (Rajawat & Jhingan, 2019).

NMR (Nuclear magnetic resonance)

NMR spectroscopy is a physico-chemical method that is based on the magnetic properties possessed by the atomic cores of the molecules to be analyzed (De Graaf, 2019). This technique is based on the characteristic absorption of energy by the cores that rotate within a strong magnetic field, after being irradiated with another field weaker secondary and perpendicular to the first, thus allowing to identify the atomic configuration in molecules. The cores of some isotopes have a intrinsic movement of rotation around its axis. Their own spin of these particles generates a magnetic moment along the axis of the spin. If such a core is placed in an external magnetic field, its movements could be aligned in favor of or against of that field (Fariña, 2016).

An NMR spectrometer basically consists of an emitter and a detector of radio frequency and a magnet. The sample under study is placed between the two poles of that magnet and is subjected to a radio frequency field by the emitter. At this time, the sample will absorb energy, both magnetic and electrical. When the relationship between the magnetic and electric fields is adequate, a pulse will be emitted, and the receiver will register a signal (De Graaf, 2019).

This technique can only be used to study atomic cores with an odd number of protons or neutrons (or both), which occurs in the next atoms: ^1H , ^{13}C , ^{19}F and ^{31}P (Lambert et al., 2019).

The most studied cores in organic chemistry are cores of ^1H and ^{13}C . The ^1H has a high natural abundance (99.98%), which favors obtaining ^1H NMR spectra (Connor et al., 2019). On the other hand, the ^{13}C cores has a low natural abundance (1.1%) and obtaining of the corresponding NMR spectra requires more sample and / or experimentation time (Giraudeau, 2020). In the case of flavonoids, the ^1H NMR spectrum contributes with essential information on the type of substitution in the ring's aromatics and the structural characteristics of the C ring, which allow define the type of flavonoid studied. The most informative region of the spectrum is the region between 6-9 ppm (Lovatti et al., 2020).

Other characterization techniques

In addition to these flavonoid characterization methods, two other methods, such as infrared spectroscopy and Raman spectroscopy, have been used more often in recent years. These methods have the advantage of being inexpensive compared to those described above and simple to use since no pretreatment of the sample or the use of any extra chemicals is required (Geraldés, 2020). The interpretation of the spectra obtained by this pair of techniques is not so simple, since each compound has a spectral band with a different and unique pattern and therefore requires an extensive

literature review, with the help of these methods can identify different functional groups and structural bonds of the compounds so that with these techniques can be identified as well as quantify different types of compounds (Gniadecka et al., 1997). The structure of the molecules is in most cases very important and very influential in the properties of the different compounds and their biological activity, such as in the case of flavonoids where their molecular structure is directly related to their biological properties (antibacterial, antiviral & antifungal). (Brown et al., 1998). Therefore, these techniques allow you to observe the molecular structure of the compounds and the different anchored functional groups responsible for the different properties (Krysa et al., 2022).

In recent years, even transmission electron microscopy and scanning electron microscopy have been used to characterize flavonoid extracts, either directly observing the morphology of certain solids to identify compounds (Kanaze et al., 2006), or indirectly using the extracts in the synthesis of various metals, thus observing the form of these metals (Kashkouli et al., 2018; Veeramani et al., 2022).

Also techniques to observe the crystalline structure of materials such as X-ray diffraction have been used to observe the crystalline structure of different flavonoid complexes that can be used for the treatment of various diseases (Kim, 2020; Zhou et al., 2022).

Conclusions

Due to the potential and diverse applications of bioactive compounds, researchers have focused their attention on extraction methods and conditions for these compounds for various analytical, formulation and industrial purposes. In the past few years, various extraction methods, which are referred to as conventional extraction methods in this paper, have been developed, however these methods have several disadvantages among which are: low yields, long extraction times, degradation of some compounds of interest, operating costs as well as the use of large quantities of organic solvents and the problems this brings with it. This is why in recent years new extraction techniques have emerged, which we call unconventional methods in this work, these techniques aim to increase the extraction efficiency of the compounds of interest by reducing or eliminating the use of organic solvents or replacing them with green solvents, which in turn results in shorter extraction times and increased extraction yields. Therefore, several research projects with these new methods have been developed in recent years. However, due to the nature and complexity of the different plant matrices used, it is agreed that there is no single and standardized method for each extractable material or type of flavonoid.

It is because of these different extraction methods that the aforementioned characterization methods become relevant to improve the use of these extracts. This type of characterization helps us understand how flavonoids have different health-promoting properties and how they can be improved. Therefore, this review describes the main characterization methods used and their recent adaptations.

For this reason, researchers continue to develop and apply different characterization methods for these important compounds which are beneficial to human health, and providing a reference point for current methods will enable the development of new characterization methods.

The future in the extraction, purification and characterization of catalysts is focused as mentioned in the development of these characterization techniques especially in the adsorption and excretion of these molecules, especially because there is not enough information about the chronic consumption of these compounds, also to discover different flavonoids that can contribute in the treatment of different diseases and which has a very large field of application. Different studies have recommended the realization of different in vivo researches to observe the reaction of different organisms to the treatment of different diseases with flavonoids.

References

- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4(1), 200-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>.
- Arlotta, C., Puglia, G. D., Genovese, C., Toscano, V., Karlova, R., Beekwilder, J., De Vos, R.C.H., & Raccuia, S. A. (2020). MYB5-like and bHLH influence flavonoid composition in pomegranate. *Plant Science*, 298(1), 110563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110563>.
- Awad, H., Khamis, M. M., & El-Aneed, A. (2015). Mass spectrometry, review of the basics: ionization. *Applied Spectroscopy Reviews*, 50(2), 158-175. DOI: <https://doi.org/10.1080/05704928.2014.954046>.

- Ballard, C. R., & Junior, M. R. M. (2019). Health benefits of flavonoids. *Bioactive compounds*, 1(1), 185-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00010-4>.
- Brodowska, K.M. (2017). Natural flavonoids: classification, potential role, and application of flavonoid analogues. *European Journal of Biological Research*, 7(2), 108-123. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.545778>.
- Brown, E. J., Khodr, H., Hider, C. R., & Rice-Evans, C. A. (1998). Structural dependence of flavonoid interactions with Cu²⁺ ions: implications for their antioxidant properties. *Biochemical Journal*, 330(3), 1173-1178. DOI: <https://doi.org/10.1042/bj3301173>.
- Bustamante, G. (2019). Evaluación de la producción de granada, *Punicata Granatum L.* en el valle de Chinchá como alternativa rentable y sostenible (Trabajo de investigación de Máster en Agronegocios). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. URI: <https://hdl.handle.net/11042/4129>.
- Caldas, T. W., Mazza, K. E., Teles, A. S., Mattos, G. N., Brígida, A. I. S., Conte-Junior, C. A., Borgini, R.G., Godoy, R.I.O., Cabral, M.L.C., & Tonon, R. V. (2018). Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and non-conventional extraction methods. *Industrial crops and products*, 111(1), 86-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.012>.
- Cervantes-Anaya, N., Azpilcueta-Morales, G., Estrada-Camarena, E., Ortega, D. R., de la Cruz, V. P., González-Trujano, M. E., & López-Rubalcava, C. (2022). Pomegranate and Its Components, Punicalagin and Ellagic Acid, Promote Antidepressant, Antioxidant, and Free Radical-Scavenging Activity in Ovariectomized Rats. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16(1), 836681. DOI: 10.3389/fnbeh.2022.836681.
- Choma, I. M., & Jesionek, W. (2015). TLC-direct bioautography as a high throughput method for detection of antimicrobials in plants. *Chromatography*, 2(2), 225-238. DOI: <https://doi.org/10.3390/chromatography2020225>.
- Connor, M. C., Finkenstaedt-Quinn, S. A., & Shultz, G. V. (2019). Constraints on organic chemistry students' reasoning during IR and ¹H NMR spectral interpretation. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 522-541. DOI: 10.1039/C9RP00033J.
- Córdova, L.C. (2017). Métodos para separar, identificar y caracterizar una mezcla binaria constituida por los flavonoides naringenina y quercetina. (Bachelor's tesis). Salesian Polytechnic University. URI: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10845>.
- Coskun, O. (2016). Separation techniques: chromatography. *Northern clinics of Istanbul*, 3(2), 156. DOI: 10.14744/nci.2016.32757.
- De Graaf, R. A. (2019). *In vivo* NMR spectroscopy: principles and techniques. New Heaven, CT, USA: John Wiley & Sons. ISBN: 1119382548, 9781119382546.
- De Villiers, A., Venter, P., & Pasch, H. (2016). Recent advances and trends in the liquid-chromatography–mass spectrometry analysis of flavonoids. *Journal of Chromatography A*, 1430(1), 16-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.11.077>.
- Fahmy, H., Hegazi, N., El-Shamy, S., & Farag, M. A. (2020). Pomegranate juice as a functional food: A comprehensive review of its polyphenols, therapeutic merits, and recent patents. *Food & function*, 11(7), 5768-5781. DOI: 10.1039/D0FO01251C.
- Fariña, D. (2016). Obtención de Flavonoles de Plantas Superiores. Actividad Biológica. (Bachelor's thesis). Universidad de la Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España. URI: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2674/Obtencion+de+Flavonoles+de+Plantas+Superiores.+Actividad+Biologica.+pdf?sequence=1>.
- Gao, M., & Liu, C. Z. (2005). Comparison of techniques for the extraction of flavonoids from cultured cells of *Saussurea medusa Maxim.* *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(8), 1461-1463. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-005-6809-1>.
- Geraldes, C. F. G. C. (2020). Introduction to infrared and raman-based biomedical molecular imaging and comparison with other modalities. *Molecules*, 25(23), 5547; <https://doi.org/10.3390/molecules25235547>.
- Giraudeau, P. (2020). NMR-based metabolomics and fluxomics: developments and future prospects. *Analyst*, 145(7), 2457-2472. DOI: 10.1039/D0AN00142B.
- Gniadecka, M., Wulf, H. C., Nielsen, O. F., Christensen, D. H., & Hercogova, J. (1997). Distinctive Molecular Abnormalities in Benign and Malignant Skin Lesions: Studies by Raman Spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 66(4), 418-42. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1997.tb03167.x>.
- Hasani, K., Peyghami, A., Moharrami, A., Vosoughi, M., & Dargahi, A. (2020). The efficacy of sono-electro-Fenton process for removal of Cefixime antibiotic from aqueous solutions by response surface methodology (RSM) and evaluation of toxicity of effluent by microorganisms. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(7), 6122-6139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.05.012>.
- Hidalgo, G.I., & Almajano, M.P. (2017). Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: a review. *Antioxidants*, 6(1), 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6010007>.

- Jahromi, S. G. (2019). Extraction techniques of phenolic compounds from plants. *Plant physiological aspects of phenolic compounds*, 1(1), 1-18. ISBN: 1789840333, 9781789840339.
- Jug, U., Glavnik, V., Kranjc, E., & Vovk, I. (2018). HPTLC-densitometric and HPTLC-MS methods for analysis of flavonoids. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 41(6), 329-341. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2018.1448690>.
- Kanaze, F. I., Kokkalou, E., Niopas, I., Georgarakis, M., Stergiou, A., & Bikiaris, D. (2006). Thermal analysis study of flavonoid solid dispersions having enhanced solubility. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 83(1), 283-290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-005-6989-9>.
- Karak, P. (2019). Biological activities of flavonoids: an overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(4), 1567-1574. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.10(4).1567-74.
- Kashkouli, S., Jamzad, M., & Nouri, A. (2018). Total phenolic and flavonoids contents, radical scavenging activity and green synthesis of silver nanoparticles by *Laurus nobilis* L. leaves aqueous extract. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 7(1), 25-32. DOI: <https://doi.org/10.22092/JMPB.2018.116725>.
- Kim, J. S. (2020). Study of flavonoid/hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complexes by UV-Vis, FT-IR, DSC, and X-Ray diffraction analysis. *Preventive Nutrition and Food Science*, 25(4), 449. DOI: <https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.4.449>.
- Kori, A.H., Mahesar, S.A., Sherazi, S.T.H., Laghari, Z.H., & Panhwar, T. (2020). A review on techniques employed for encapsulation of the bioactive components of *Punica granatum* L. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), e14848. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14848>.
- Krysa, M., Szymańska-Chargot, M., & Zdunek, A. (2022). FT-IR and FT-Raman fingerprints of flavonoids—a review. *Food Chemistry*, 133430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133430>.
- Kushwaha, S. C., Bera, M. B., & Kumar, P. (2013). Nutritional composition of detanninated and fresh pomegranate peel powder. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 7(1), 38-42.
- Lambert, J. B., Mazzola, E. P., & Ridge, C. D. (2019). *Nuclear magnetic resonance spectroscopy: an introduction to principles, applications, and experimental methods*. Maryland, USA: John Wiley & Sons. ISBN: 1119295238, 9781119295235.
- Lovatti, B. P., Nascimento, M. H., Rainha, K. P., Oliveira, E. C., Neto, Á. C., Castro, E. V., & Filgueiras, P. R. (2020). Different strategies for the use of random forest in NMR spectra. *Journal of Chemometrics*, 34(12), e3231. DOI: <https://doi.org/10.1002/cem.3231>.
- Lysiuk, R., & Hudz, N. (2017). Differential spectrophotometry: Application for quantification of flavonoids in herbal drugs and nutraceuticals. *Internacional Journal of Trends in Food & Nutrition*, 1(1), e102.
- Madaci, B., Samy, K., Rachid, M., & Lotfi, D. (2022). The extraction and identification of flavonoids from *Nerium oleander* L. in the east of Algeria-Constantine. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 12(5), 639-644. DOI: [https://doi.org/10.38150/sajeb.12\(5\).p639-644](https://doi.org/10.38150/sajeb.12(5).p639-644).
- Magangana, T. P., Makunga, N. P., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2020). Processing factors affecting the phytochemical and nutritional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel waste: A review. *Molecules*, 25(20), 4690. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25204690>.
- Mathesius, U. (2018). Flavonoid functions in plants and their interactions with other organisms. *Plants*, 7(2), 30. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7020030>.
- Melgarejo, P., Núñez-Gómez, D., Legua, P., Martínez-Nicolás, J. J., & Almansa, M. S. (2020). Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends in Food Science & Technology*, 102(1), 232-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014>.
- Miklavcic D. (2019). *Handbook of electroporation*. Ljubljana, Slovenia: Springer International Publishing.
- Mizzi, L., Chatzitzika, C., Gatt, R., & Valdramidis, V. (2020). HPLC analysis of phenolic compounds and flavonoids with overlapping peaks. *Food technology and biotechnology*, 58(1), 12-19. DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.58.01.20.6395>.
- Navarro, J., Flores, M.P., Jordán, M., & Hellín, M. (2015). *Técnicas instrumentales y recursos analíticos. Nivel Básico, Escuela de formación e innovación, Murcia- España*.
- Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4299-4315. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2>.
- Patil, M. P. N. (2017). HPLC Method Development-A Review. *Journal of Pharmaceutical Research and Education*, 1(2), 243-260.
- Perkampus, H. H. (2013). *UV-VIS Spectroscopy and its Applications*. Springer Science & Business Media. ISBN: 3642774776, 9783642774775.

- Pienaar, L., & Barends-Jones, V. (2021). The economic contribution of South Africa's pomegranate industry. *Agriprobe*, 18(4), 57-64. DOI: 10.10520/ejc-agriprob-v18-n4-a23.
- Poblocka-Olech, L., Glód, D., Zebrowska, M. E., Sznitowska, M., & Krauze-Baranowska, M. (2016). TLC determination of flavonoids from different cultivars of *Allium cepa* and *Allium ascalonicum*. *Acta Pharmaceutica*, 66(4), 543-554. DOI: <https://doi.org/10.1515/acph-2016-0038>.
- Premathilaka, R., Rashidinejad, A., Golding, M., & Singh, J. (2022). Oral delivery of hydrophobic flavonoids and their incorporation into functional foods: Opportunities and challenges. *Food Hydrocolloids*, 1(1), 107567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107567>.
- Rajawat, J., & Jhingan, G. (2019). Mass spectroscopy. *Data Processing Handbook for Complex Biological Data Sources*, 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816548-5.00001-0>.
- Safe, S., Jayaraman, A., Chapkin, R. S., Howard, M., Mohankumar, K., & Shrestha, R. (2021). Flavonoids: structure-function and mechanisms of action and opportunities for drug development. *Toxicological Research*, 37(2), 147-162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43188-020-00080-z>.
- Sarkar, C., Chaudhary, P., Jamaddar, S., Janmeda, P., Mondal, M., Mubarak, M. S., & Islam, M. T. (2022). Redox activity of flavonoids: Impact on human health, therapeutics, and chemical safety. *Chemical Research in Toxicology*, 35(2), 140-162. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.1c00348>.
- Sen, A. K., Sen, D. B., & Maheshwari, R. A. (2019). *Herbal Medicine in India: Indigenous Knowledge, Practice, Innovation and its Value*. Springer Nature. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7248-3>.
- Sephton, M. A., Waite, J. H., & Brockwell, T. G. (2018). Searching for life with mass spectrometry. *Astronomy & Geophysics*, 59(3), 3-23. DOI: 10.1093/astrogeo/aty146.
- Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 1(1), 132531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>.
- Silva, M. S. (2017). Recent advances in multinuclear NMR spectroscopy for chiral recognition of organic compounds. *Molecules*, 22(2), 247. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22020247>.
- Sreekumar, S., Sithul, H., Muraleedharan, P., Azeez, J.M., & Sreeharshan, S. (2014). Pomegranate fruit as a rich source of biologically active compounds. *BioMed Research International*, 2014(1), 686921. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/686921>.
- Tenorio, M. D. L. S. O., & Tenorio, A. O. (2021). Estudio del grado de conocimiento de la población sobre nutrición y alimentación. *Enfermería Docente*, 1(1)7-10.
- Tiwari, S. C., & Husain, N. I. S. R. E. E. N. (2017). Biological activities and role of flavonoids in human health-A. *Indian Journal Science Research*, 12(2), 193-6. ISSN: 2250-0138.
- Truzzi, F., Tibaldi, C., Zhang, Y., Dinelli, G., & D' Amen, E. (2021). An overview on dietary polyphenols and their biopharmaceutical classification system (BCS). *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5514. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22115514>.
- Urban, P. L. (2016). Quantitative mass spectrometry: an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2079), 20150382. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0382>.
- Veeramani, S., Narayanan, A. P., Yuvaraj, K., Sivaramkrishnan, R., Pugazhendhi, A., Rishivarathan, I., Jose, S.P., & Ilangovan, R. (2022). *Nigella sativa* flavonoids surface coated gold NPs (Au-NPs) enhancing antioxidant and anti-diabetic activity. *Process Biochemistry*, 114(1), 193-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.01.004>.
- Vijayakumar, B. G., Ramesh, D., Joji, A., & Kannan, T. (2020). In silico pharmacokinetic and molecular docking studies of natural flavonoids and synthetic indole chalcones against essential proteins of SARS-CoV-2. *European journal of pharmacology*, 886(1), 173448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173448>.
- Viñas, P., & Campillo, N. (2019). Gas Chromatography: Mass Spectrometry Analysis of Polyphenols in Foods. *Polyphenols in Plants*, 1(1), 285-316. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00016-5>.
- Zhou, X., Chen, J., Wang, S., & Zhou, Y. (2022). Effect of high hydrostatic pressure treatment on the formation and in vitro digestion of Tartary buckwheat starch/flavonoid complexes. *Food Chemistry*, 382(1), 132324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132324>.

REDUCCIÓN DE DEFECTOS EN UNA DE LÍNEA DE MONTAJE DE ARNESES ELÉCTRICOS AUTOMOTRICES APLICANDO MANUFACTURA ESBELTA

Beatriz Adriana Esparza Ramírez¹, Fernando Ricárdez Rueda²
Isaías Emmanuel Garduño Olvera³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Recibido: 16/05/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen.- El objetivo general de este proyecto es reducir los defectos de calidad de una línea de ensamble de arneses eléctricos automotrices. El estado actual del proceso de la línea de producción se determinó con herramientas de análisis Lean como: Diagrama CTQ (parámetros Críticos de Estándares de Calidad), diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) y VSM (gráfico de flujo de valor), y la evaluación de las métricas del proceso para determinar el estado de la línea. Derivado del análisis de las causas raíz de los defectos se identificó viable la utilización de las siguientes herramientas Lean: Andon (LUP), Instrucciones de Trabajo, Matriz de Habilidades, Andon (Dashboard), Desarrollo de Talento para formación práctica y Poka Yoke con sensores de contacto para asegurar el enrutamiento visual de los cables del arnés. El número promedio de defectos de calidad antes de las mejoras fue de 178 y con la implementación del método propuesto se redujo a 146 de las 2348 piezas producidas semanalmente, lo que demuestra una reducción significativa de los defectos de calidad internos en la línea del 17.98%.

Palabras Clave: Lean, Arnés automotriz, Poka Yoke, Andon, Calidad. LUP lección de un punto

DEFECT REDUCTION IN AN ASSEMBLY LINE OF AUTOMOTIVE ELECTRICAL HARNESES APPLYING LEAN MANUFACTURING

Abstract. - The overall objective of this project is to reduce the quality defects of an automotive electric harness assembly line. The current state of the production line process was determined with Lean analysis tools such as CTQ diagram (Quality Standards Critical parameters), SIPOC diagram (Supplier Inputs Process Outputs Customers), and VSM (value flow chart), and evaluating process metrics to determine line status. Derived from the analysis of the root causes of defects, the use of the following Lean tools was determined to be feasible: Andon (LUP), Work Instructions, Skills Matrix, Andon (Dashboard), Talent development for practical training, and Poka Yoke with contact sensors to ensure visual routing of harness cables. The average number of quality defects before improvements was 178 and with the implementation of the proposed method was reduced to 146 of the 2348 pieces produced weekly, which demonstrates a significant reduction of internal quality defects in the line of 17.98%.

Keywords: Lean, Automotive Harness, Poka Yoke, Andon, Quality. OPL (One Point Lesson)

Introducción

Este proyecto muestra el desarrollo de una estrategia para reducir los defectos de calidad de una línea de montaje que produce el arnés específico del cliente, a través de la aplicación de herramientas de lean manufacturing según menciona Chien – Ho (2012) “Lean manufacturing es una filosofía de administración empresarial enfocada en mejorar flujos”.

La empresa que sirve como unidad de estudio es de origen alemán que opera en el sector automotriz fundada en 1958, fue en 2007 cuando se inauguró la Planta Eléctrica 1 en el municipio de Lagos de Moreno Jalisco en México, luego en 2009 inauguró la Planta Eléctrica 2, teniendo a OEM Alemana fabricante de automóviles premium como su principal cliente.

¹ Profesora-Investigadora Dra. en Manufactura Avanzada. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad académica de Lagos de Moreno. LGAC Calidad y productividad de los procesos industriales. Perfil deseable PRODEP. <https://orcid.org/0000-0001-8895-6661> beatriz.esparza@lagos.tecmm.edu.mx (**Autor corresponsal**).

² Profesor-Investigador. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad académica de Lagos de Moreno. LGAC Calidad y productividad de los procesos industriales. <https://orcid.org/0000-0002-6847-8970> fernando.ricardez@lagos.tecmm.edu.mx

³ Cátedras CONACYT-CIATEQ A.C., San Luis Potosí, México. <https://orcid.org/0000-0002-8944-7954> isaias.garduno@ciateq.mx

Esta planta comprende varias áreas, donde MAIN G01 es uno de los procesos intermedios más importantes para reunir el KSK (arnés específico del cliente). El arnés MAIN se ensambla en esta línea de producción, que junto con el arnés COCKPIT (Panel Central del camión) y AUDIO (Parte interior de la cabina del vehículo) forman el sistema eléctrico total del proyecto para OEM Alemana. La línea MAIN integra el arnés principal y este es un conjunto de módulos (montaje de cables y componentes) que se enrutan en la misma placa de montaje a través de fijaciones y horquillas principalmente, uniendo las conexiones terminales y colocando los componentes antes de ser pegados para formar el arnés en su totalidad.

En primera instancia, en el proyecto se define el alcance y el equipo de trabajo. A continuación, se diagnostica el estado actual del proceso de la línea con herramientas de análisis y las métricas del proceso (López, 2016, p. 95) “es una expresión numérica (ratio) representativa de una magnitud, que permite conocer el desempeño de un proceso” para determinar cuantitativamente el promedio actual de defectos de calidad de la línea y medir su evolución al final del proyecto.

A continuación, se presenta el análisis de los defectos de la línea de montaje con el apoyo de algunas de las herramientas de calidad esenciales, con el fin de obtener la causa raíz de los defectos de calidad que más afectan a la línea y las herramientas de manufactura esbelta que se aplican a ellos.

Se implementan las herramientas de lean manufacturing que permiten la reducción de defectos con la mejora del proceso, Tejeda (2011) menciona “Es una filosofía de trabajo que propone obtener mayores beneficios utilizando menos recursos “, se evalúan las soluciones que se desarrollaron, con el fin de consolidar los resultados de la implementación de las mejoras y finalmente, hacer una evaluación estadística y financiera del proceso.

Marco teórico

La industria de los arneses automotrices, primordialmente en zonas como el noroeste del país, ha cobrado gran importancia desde los 80's y para el siglo XX con el TLCAN, su incremento en ventas fue exponencialmente considerable. El departamento de aduanas estadounidenses declaró que en México la producción de arneses creció más del 70% entre los 90's y 2000's. En el estado de Jalisco, específicamente en el municipio de Lagos de Moreno las plantas de arneses están enfocadas en la venta de autopartes y componentes eléctricos de las marcas Volkswagen y OEM Alemana. Un producto tan importante como el arnés debe ser fabricado con alta calidad porque, en la actualidad, los vehículos son controlados con la asistencia de complejos sistemas eléctrico-electrónicos y cada acción es operada con sistemas sofisticados que van de la mano de circuitos trenzados, conectores y centros electrónicos (el sistema nervioso de los automóviles) (Durán, 2019, p. 2).

Los operadores conducen los procesos operativos y por ello deben de involucrarse de manera relevante y clave en la implementación de la manufactura esbelta, debe incentivarse las aportaciones técnicas del capital humano. Acuña (2004), menciona “los empleados son quienes desarrollan las actividades y conocen a la perfección cada una de las deficiencias de las mismas, ellos pueden identificar áreas de oportunidad y generar ideas para lograr la mejora continua”. Esta afirmación, aplica bastante al desarrollo del proyecto y abre un panorama al responsable de la implementación de este, referente a la tarea clave que tiene respecto al personal operativo y su involucramiento. En la búsqueda de la mejora continua (Figura 1), en un proyecto de implementación Lean a la industria del arnés, se distingue un vínculo importante que muchas veces no está presente en la referencia de tópicos importantes para las organizaciones, la experiencia del operador debe convertirse en conocimiento y Lean manufacturing es una excelente oportunidad para generar este lazo tan importante.

Figura 1
Búsqueda de la mejora continua



Nota: Kaizen. Acuña (2004) (p.10)

Involucrar a los trabajadores de forma activa, aporta los siguientes beneficios:

- Los colaboradores comprendan realmente los objetivos y beneficios de la metodología.
- Incentiva económicamente el desarrollo del personal.
- Establecer un sistema de multi habilidades en la planta de modo que el personal pueda ser ubicado en diferentes funciones según sea requerido para lograr la producción solicitada por los diferentes clientes.
- Proporciona una línea de ascenso laboral basado en Multi-Habilidades. Cabrera (2014) indica “Los trabajadores debe pasar por distintos procesos de su sección y desempeñar tareas diferentes. Aumentaran su destreza, se disminuirá la monotonía y se facilitarán los procesos de ayuda mutua”.
- Impulsar el desarrollo de los trabajadores mediante equipos de alto desempeño, dándole primeramente capacidad para la toma de decisiones básicas y así sucesivamente hasta llegar a formar equipos autónomos.
- Aportarán ideas novedosas siendo ellos mismos quienes observen a sus compañeros, tomen tiempos y aporten las ideas de modo que tengan sentido de pertenencia. Martínez (2021) menciona que en la trayectoria de la disciplina de Lean Manufacturing las habilidades blandas como observación e involucramiento de los trabajadores son clave. “Por lo tanto, que los trabajadores cooperen voluntariamente con la gerencia para mejorar la eficiencia productiva” (Fairris, 2002, p. 529).
- Ubicación de recursos donde son requeridos.

Materiales y métodos

Es posible utilizar más de 30 herramientas Lean en el horario regular del entorno de producción. Cada tipo de organización elige un tipo particular de herramienta lean para un problema particular para lograr una producción óptima. Diaz (2020) menciona “La sistematización y estructuramiento ordenado de los procesos productivos, permiten optimizar la utilización y aprovechamiento de recursos a partir del cuidado y eliminación del desperdicio”, como menciona Stephens (2019) “Afortunadamente, existe una poderosa cura para la muda: pensamiento esbelto y manufactura esbelta. El pensamiento esbelto y la fabricación esbelta alientan a los diseñadores a pensar en el valor y crear acciones en la mejor secuencia”.

Mapeo de procesos SIPOC (Suppliers Inputs Process Outputs Customers) A continuación, se presenta el desarrollo del mapa SIPOC, así como la descripción detallada de cada uno de sus puntos, mostrando la relación y relevancia de cada elemento dentro de esta cadena de valor. Como menciona Brow (2019) “el SIPOC es la herramienta ideal para identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de mejora de procesos antes de que el trabajo inicie”.

Proveedores: (Suppliers): Se refiere a las áreas o departamentos que abastecen la línea de producción:

- Logística (Comisionado): es el área de la empresa que se encarga de poner en marcha los módulos requeridos por el arnés según la variante representada a través del Dockchart (carga de trabajo).
- Kanban: es un área logística encargada del suministro de material y componentes a la línea de producción. Como expresa Tofan (2022) “El método Kanban se utiliza en una producción. debido a las siguientes ventajas: Garantiza comunicación entre procesos de negocio; Proporciona control de inventario; Indica el almacenamiento y lugares de entrega, la cantidad estándar y el tipo de contenedor, el método /frecuencia de transporte y permite la identificación de cualquier defecto que pueda ocurrir; proporciona gestión visual”.
- Retornable: Una división logística responsable de suministrar materiales retornables a la línea de producción.

Entrada: Todos los datos o elementos necesarios para llevar a cabo el proceso.

- Tablero: es la estación de montaje horizontal donde se enrutan todos los módulos que componen el arnés MAIN G01.
- Encabezado: es una pieza de información dibujaban en el tablero que describe, la revisión del arnés que se está procesando y los símbolos pertenecientes a las estaciones de bordillo.
- Módulos: son conjuntos de cables y componentes, que servirán para montar el arnés y trabajar con un código de colores.
- Antena: son cables gruesos que servirán para montar el arnés.
- Retornables: Son paquetes únicos para proteger la caja de fusibles.
- Correas: Son material necesario para el embalaje del arnés para su manipulación en procesos posteriores.
- Cubiertas, sellos, candados, placas múltiples y cables: estos son los componentes necesarios al final del módulo para generar la conexión en el coche.
- Arandelas, clips, cintas para zonas húmedas y secas, tubos corrugados y de malla, canaletas y tijeras: son elementos de la zona de pegado del arnés que sirven de operación para proteger las ramas del arnés.

- Caja de soporte de componentes: es para que los operadores tengan los componentes para ser utilizados en breve.
- Herramientas de funcionamiento complementarias: sirven al operario para realizar su operación con mayor facilidad y sin dañar el material.
- Herramienta de relé: utilizada para la corrección inmediata de errores cometidos por los operadores.
- Pistolas N: se utilizan para quitar las corbatas de las correas.
- P80: es un lubricante que se utiliza en la arandela para facilitar la entrada de la canal.

Proceso (Process): Serie de actividades que generan una línea entre la entrada y el punto de salida, estableciendo un valor requerido.

- Las estaciones s 1, 2, 3, 4 y 5 son las estaciones encargadas del enrutamiento del módulo, así como de la inserción de cables y componentes que corresponden al arnés según su variante.
- Estación 6: esta es la estación donde se realiza el engarzado de múltiples placas (evitar terminales bajos en las múltiples placas) principalmente, además de las correspondientes actividades de cinta.
- Estaciones 7, 9, 10, 11, 14, 15 y 16: son las estaciones donde se realiza el frenado, (de ramas mediante la colocación de cintas para zonas húmedas y secas, ojales, canaletas, lugares para correas y clips).
- Estación 8, 12 y 13: Las estaciones se encargan de realizar el ultrasonido, (uniendo cables depilados y aplicando tapas protectoras) a los cables principalmente, además de las correspondientes actividades de grabación.
- Estación 17: esta es la estación donde se cortan las correas con las pistolas de corte y los clips se colocan en los postes antes de la prueba de clip.
- Estación 18: Es la estación donde se realiza la Prueba de Clip, se retira el arnés, se colocan las correas y se lleva al carro para los siguientes procesos.

Salida (Output): Resultado final obtenido, a partir de un seguimiento de las actividades en cada uno de los puestos de trabajo de la línea de producción.

- Arnés: es el arnés principal del automóvil listo para pasar a los siguientes procesos, compuesto por el total de módulos y componentes protegidos a su vez con la cinta adecuada según la zona en la que se vaya a montar, así como aquellos componentes necesarios para el montaje en el interior del vehículo.
- KSK para OEM Alemana, casado con el arnés de audio y listo para montar en su estratégico embalaje de mochila de tres capas.

Clientes (Customers): Es la organización a la que se envía el resultado final y que debe estar satisfecha con la calidad del producto. El cliente final es OEM original equipment manufacturer un fabricante de automóviles por lo que el nivel de la empresa unidad de estudio es TIER 1: que son los proveedores de primer nivel, que manufacturan sistemas, subsistemas y componentes completamente terminados para facilitarlos directamente al fabricante de vehículos, Páez (2016) menciona “La innovación de sus procesos y autopartes es constante todo esto, para lograr sobresalir en el mercado automotriz, su esquema de proveeduría es jerárquico de mayor a menor nivel, estos se clasifican como Tier 1, este nivel es el que provee a los ensambladores de autopartes terminadas, el cual es más exigente con sus proveedores. Tier 2 provee al Tier 1. Varias empresas proveen al Tier 2”.

“La implementación de la manufactura esbelta permite que el valor fluya a través de los procesos de manufactura de la empresa, y es jalado por la demanda del cliente previene o más bien elimina el desperdicio” (Chick, 2016, p. 4).

Desperdicios son nombrados muda “todo aquello que no añade valor al cliente” (Pérez-Rave, 2015, p. 249) en Lean.

- Muda de Sobreproducción. “Producir más de lo necesario, producir más rápido de lo necesario. Las reglas Kanban previene la sobreproducción” (Domingo, 2015, p. 2).
- Muda de Movimiento. “Es el movimiento innecesario de personal y operadores en el piso de la fábrica sin adición de valor a los productos y/o servicios, se pierden esfuerzos y tiempo. Estos movimientos evitables ocurren por lay out mal organizado, baja estandarización de procesos, fuerza laboral deficientemente entrenada, y un mal diseño de proceso” (Okpala, 2014, p. 8).
- Muda de Espera. “Sucede cuando los operadores se detienen en espera de partes, maquinas u otros colegas. Las posibles causas son fallas en la maquinaria o falta de material en el almacén” (Simboli, 2014, p. 178).
- Muda de Transporte. “Se debe a las distancias largas entre las etapas del proceso de producción. Por lo tanto, el movimiento de materiales, producto en proceso y terminados, requiere la participación de medios de transporte

asociado con costos adicionales, pérdida de tiempo y generación de daños durante el proceso de transporte”. (Grzelczak, 2016, p. 4).

- Muda de Sobre proceso. “Hacer más operaciones a un producto de lo que requiere el cliente final resulta en que toma más tiempo y cuesta más producir” (Siddiqui, 2021, p. 31828).
- Muda de Stock o Inventario. “Manejar stocks innecesarios lo que resulta en otros tipos de muda como, esperar, corregir y sobre procesar” (Pieńkowski, 2014, p.11).
- Muda de defectos. “El esfuerzo involucrado en la inspección y reparación de defectos” (Abebe, 2021, p. 79).

Descripción de la implementación: En esta sección se despliega el uso de las herramientas Lean aplicadas. Árbol CTQ (Crítico para la calidad) Martínez (2022) menciona “Los árboles CTQ para traducir los requisitos de los clientes a requisitos críticos para la calidad en los procesos”. A través de un árbol de características críticas de calidad, se identificaron los puntos que sirvieron de punto de partida en el estado actual del estado de la línea a través de los diferentes indicadores cuantitativos internos.

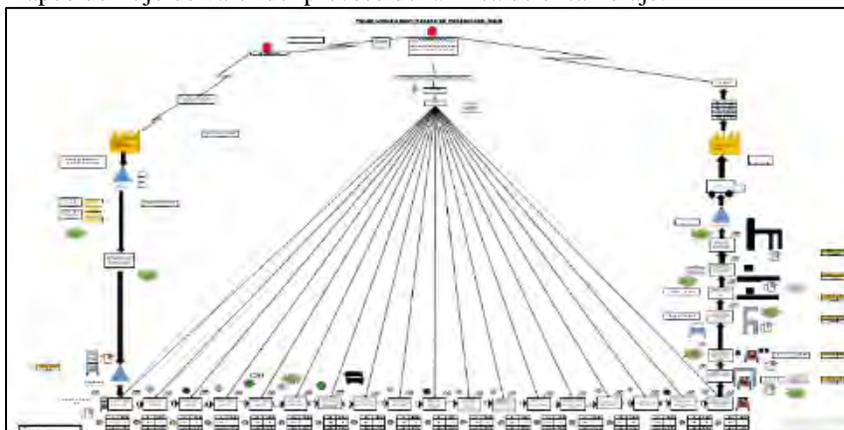
El árbol CTQ presenta las características medibles clave del arnés y cuales estándares de rendimiento o límites de especificación deben cumplirse para satisfacer al cliente. Representa un punto esencial en la definición del problema para identificar y dar seguimiento a lo que genera un impacto en los defectos de calidad de la línea.

El problema central son los defectos de calidad generados en la línea de montaje, de los que surgen dos determinantes:

- Reducción del Informe Diario (informes diarios de clientes). Los parámetros críticos de calidad: longitud de rama corta, embalaje incorrecto, cable dañado y terminal bajo, representan principalmente aquellos factores significativos que se evalúan a través de la métrica objetivo Y (350 ppm) y G (200 ppm), ppm (defectos por millón de oportunidades) calculados a través de las unidades defectuosas con respecto a las unidades relativas a las unidades producidas semanalmente. Las metas fueron evaluadas semanalmente, la meta Y, por su parte, responde a un estado amarillo, que es una meta secundaria, y el estado ideal, la letra G, verde, es la meta final a alcanzar.
- 2° Reducción de informes internos de calidad. Los parámetros críticos de calidad de: rama corta / larga, daño y ausencia de componentes, terminal y aislamiento dañados, proceso incorrecto de cinta y engarce y ultrasonido incorrecto, representan principalmente aquellos factores significativos para cumplir con los objetivos internos de ppm que se evaluaron en consecuencia. Semanalmente, esta ppm respondió a la métrica que evaluó el progreso con la meta Y de 21,000 ppm para el primer trimestre y la meta G de 12,000 ppm para el primer trimestre también.

Mapa de flujo de valor. El VSM (detalle de información confidencial) Figura 2, por sus siglas en inglés o value stream map “El diagrama identifica los flujos de información que se coordinan entre todas las unidades funcionales y estaciones de trabajo del área productiva de una empresa” Calero (2017), se desarrolló una herramienta para entender el proceso e identificar todo lo generado como residuo dentro de la actividad de montaje de la línea.

Figura 2
Mapeo de flujo de valor del proceso de la línea de ensamblaje.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La línea de montaje cuenta con 18 estaciones que componen el conjunto del arnés y un montaje realizado por 7 operarios que deben realizar 210 operaciones.

Cálculo del takt time “Sincronizar el ritmo de producción con el ritmo de Ventas” The New Lean Pocket Guide (2007)
Tabla 1:

Tabla 1
Cálculo del tiempo takt de funcionamiento de la línea.

Data/Shift	1	2	3	TAKT TIME General para los tres turnos
Tiempo disponible	27000	25200	28800	
Demanda de los clientes	70	63	76	
Takt Time:	385.7142857	400	378.947368	388.2205514
Takt Time (minutos)	6.428571429	6.666666667	6.31578947	6.470342523

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

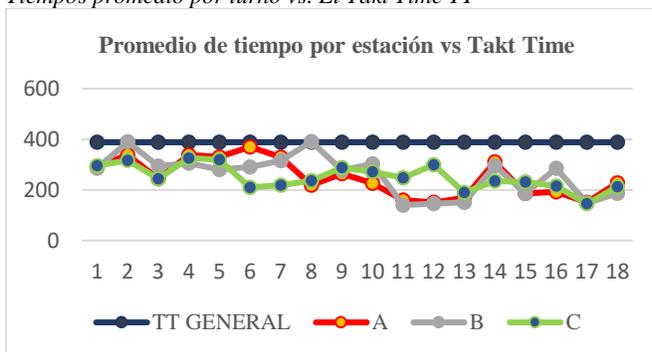
El tiempo disponible corresponde al tiempo en segundos de cada turno: el número uno corresponde al turno de mañana, dos al turno de tarde y el número tres al turno de noche, segundos que a su vez se dividen entre la demanda o las piezas objetivo establecidas para cada turno en la semana 13 respectivamente, obteniendo un Takt Time para los tres turnos de 388,22 segundos (6,4703 minutos) por arnés.

Este estudio permite obtener información valiosa de las áreas anteriores, posteriores y, por supuesto, de las actividades internas de la línea de montaje con el fin de identificar las oportunidades de mejora del proceso en la cadena de valor.

También se obtuvo un gráfico comparativo de los tiempos reales pertenecientes a la tabla anterior. Finalmente, los tiempos reales de cada turno se trazan contra el Takt mencionado anteriormente (6.4703 minutos por arnés) que se presenta a continuación.

A partir del siguiente gráfico (Figure 3), se interpretó lo siguiente: la línea azul que representa el tiempo tacto la velocidad a la que la línea debe trabajar para cubrir la demanda está por encima del tiempo de todas las operaciones, excepto: estación 2 del turno B y estación 8 del mismo turno, casos excepcionales que correspondían a: cambio de revisión y problemas del operador para adaptarse a su carga, respectivamente.

Figura 3
Tiempos promedio por turno vs. El Takt Time TT



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Lo anterior reveló que debido a problemas de tiempos reales de operación en las estaciones; la línea debe cumplir con sus metas diarias. Sin embargo, otra serie de factores que no le permiten cumplir con este objetivo: paradas de mantenimiento, falta de soporte de carga y problemas de calidad que se reflejan en el retrabajo dentro de la línea.

“La herramienta básica de análisis sigue siendo el VSM actual a partir del cual se identifican oportunidades de mejora para lograr un VSM futuro y así satisfacer el valor para nuestro cliente. Así mismo buscamos obtener un ritmo de entrega igual al takt time acorde a la demanda” (Suárez, 2020).

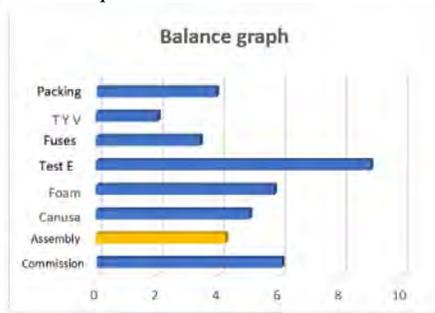
Con el VSM , también se obtuvo la siguiente aproximación de corriente de la capacidad del sistema (Tabla 2), con la toma de tiempos reales por estación (Figura 4), siguiendo el mismo principio que se utilizó para la toma de tiempos de la línea de producción tomando un total de 5 ciclos.

Tabla 2
Tabla de capacidad del sistema de producción

Procesos		En tiempo real	Salidas
1	Commission	6.05800926	2
2	Assemble	4.22179012	1
3	Canusa	5.01	H
4	Foam	5.80916667	3
5	Test E	8.96	2
6	Fuses	3.39	1
7	T Y V	2.01	1
8	Packing	3.92	1
La operación más lenta		8.96	
Capacidad		100.483	Piezas

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Figura 4:
Gráfico de capacidad del sistema.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

El tiempo promedio disponible de 450 minutos (450 min para el primer turno, 420 min para el segundo y 480 para el tercer turno) se dividió por la actividad más lenta; Prueba eléctrica: 8.96 (8.96 con dos salidas simultáneas es igual a 4.48 min), obteniendo una capacidad por turno de la línea MAIN G01 de 100 piezas por turno, presentando un área de atención para presentarse como un posible cuello de botella a partir de la toma de tiempos precisos de cada estación de trabajo.

Aplicación de herramientas de manufactura esbelta. Lean manufacturing es una filosofía que basa sus esfuerzos en desarrollar estrategias que logren eliminar los desperdicios 7+1 (inventario, movimientos, espera, transporte, sobreproducción, y subprocesamiento, defectos y talento no utilizado) son el último par de defectos, a los que se dio mayor enfoque en este proyecto, del talento no utilizado, Lewis (2013), menciona que ocasiona “Pérdida de tiempo, ideas, habilidades y oportunidades de aprendizaje por no involucrar o escuchar a sus colaboradores”.

El par de cambios (defectos y talento no utilizado), es una parte importante de los problemas en la línea de producción MAIN G01; es fundamental aprovechar la capacidad del capital humano y que las herramientas de lean manufacturing que se determinaron tengan profundo sentido para ellos, ya que son los operadores quienes, a través de la gestión del responsable, llevan a la práctica las herramientas de lean manufacturing, ayudando al proceso en busca de su mejora.

En la tabla 3 se describen aquellas herramientas de lean manufacturing a aplicar, debido a la detección de necesidades de mejora detectadas para la reducción de defectos.

Tabla 3
Herramientas de Lean manufacturing que se aplican a las necesidades detectadas.

Need for improvement detected	Lean manufacturing tool that applies	Supports for improvement
One Point Lessons (R)	1. Andon (LUP)	
Routing using the board components (R)	2. Work instructions	Support from leaders who listen to the needs of the operators (R), Communication and a good environment of the stations (R), and a band for branches that pass through the fork (R).
Polyvalence operators.	3. Polyvalence matrix.	
Information board for operators (R)	4. Andon (Board)	Real-time piece counter (R).
Practical training (R)	5. Talent Development	
Contact sensors for more visual routing (R)	6. Poka Yoke	

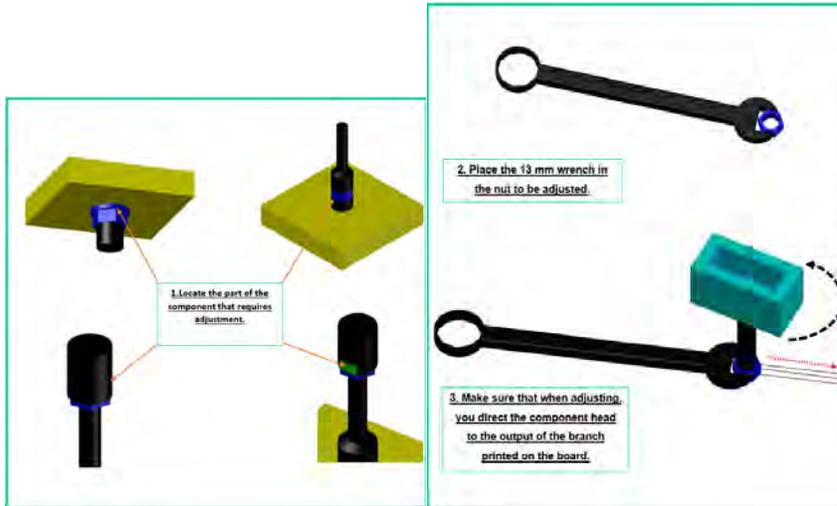
Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Se entiende entonces, que las herramientas de manufactura esbelta anteriores eran las necesarias (para eliminar defectos de enrutamiento (R) donde cada una de estas herramientas se aplicaba, siendo defectos de cinta adhesiva y defectos notables áreas que requieren menos atención porque sus necesidades de mejora no requieren el apoyo de herramientas de manufactura esbelta para la reducción de defectos.

Andon LUP. La primera herramienta desarrollada (Figura 5) se refiere a la aplicación de la herramienta LUP (One Point Lesson) que “es una herramienta de comunicación, utilizada para la transferencia de conocimientos y habilidades simples o breves” Salazar (2020) que responde a la pregunta planteada por Hernández (2013) ¿Se utilizan los estándares de trabajo para formar al personal nuevo? se aplicó a la configuración de componentes de la placa; horquillas, postes y accesorios. La necesidad constante de ajustar estos elementos, debido al uso constante de panel por panel, hizo evidente el problema de los operadores de la estación de enrutamiento de no poder utilizar los componentes para el enrutamiento porque no podían abordar la rama por error.

Figura 5
LUP para configurar componentes de enrutamiento en la placa de la línea de montaje

SINGLE-POINT LESSON FORMAT					
Prepared by:				Area:	
Reviewed by:				Date:	
LUP Type	TPM	Safety	Environment	Quality	Other
	X				
Theme:	The adjustment of board components for correct routing.		Reason for selection:	Defects dueto lack of fit and direction of the component	



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La implementación de la herramienta LUP en el ajuste de horquillas, postes y accesorios, fue una propuesta con un impacto significativo en el correcto enrutamiento de módulos y ramas de cada una de las cubiertas, evitando no hacerlo en aquellas cubiertas en las que no se fijaba un componente de la cubierta y a las que el área de mantenimiento no daba un ajuste inmediato, por lo que el enrutamiento correcto a través del componente era imposible para el operador, siendo esta omisión del uso del componente una de las principales contribuciones a los dos defectos más significativos de la línea; rama longitud larga y rama longitud corta.

Instrucción de trabajo. En segundo lugar, se generó una instrucción de trabajo (Figura 6), que sirvió para ilustrar un método estándar en la línea; el enrutamiento, una operación de ensamblaje fundamental y apoyada en las buenas prácticas descritas en las instrucciones de trabajo, definió el soporte necesario en las longitudes correctas de las ramas del módulo.

Figura 6
Instrucción de trabajo para buenas prácticas de enrutamiento.

WORKING INSTRUCTION OF GOOD ROUTING PRACTICES	
EXAMPLE	INSTRUCTION
	<p>Place all connectors in the fixtures.</p> <p>Once the connector is placed in the fixture make sure it is fixed.</p>
	<p>Comb the wires that go to the next component.</p> <p>Making sure you follow the correct routing according to the dashboard's guide lines.</p>
	<p>Use each and every component to route the module.</p> <p>No component as the branch passes should be omitted.</p>

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La instrucción de trabajo es una herramienta que proponía una contribución significativa en la reducción de defectos de rama de largo y corto tramo, la concientización a través del video y el uso de la instrucción de trabajo fue un

complemento a la idea de un necesario cambio de cultura en los operadores, respecto a aquellas buenas prácticas que se deben realizar al montar el arnés para no afectar a las estaciones post-enrutamiento, monitorear a 91 operadores en la línea es complicado para los líderes y en su caso también para los relés, es por eso que es extremadamente esencial que las personas ayuden a hacer su carga de manera responsable y correcta, generando un impacto positivo en los resultados grupales del arnés principal ya ensamblado.

Matriz de polivalencia. La tercera herramienta que aplicó fue una matriz de polivalencia (Figura 7); es fundamental que en las empresas haya la menor dependencia posible de un trabajador. A más tardar, se consigue mejorando la formación de todo el personal y proporcionando una formación adecuada a un número suficiente de trabajadores en una función específica. “La matriz de competencias explica de forma esquemática que personal está capacitado para desempeñar las distintas actividades que permiten la correcta ejecución de los procesos en la organización” (Lima, 2016). Es precisamente lo anteriormente descrito lo que se buscó con esta matriz, preparar los relés de cada par de estaciones de enrutamiento en todas y cada una de las 14 cargas que corresponden a cada una logrando entonces, que la operación de enrutamiento no sea vista como tal una operación del operador a cargo, sino que, en su ausencia, alguien más estaba preparado para cubrir la carga sin enviar defectos en el arnés.

Figura 7
Matriz de polivalencia para relés de estaciones de enrutamiento.

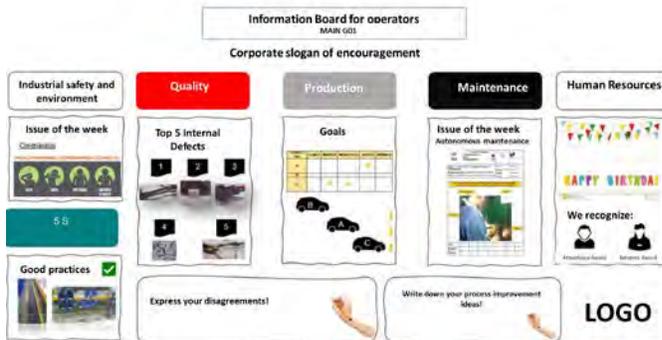
Nota: Elaboración propia con datos del proceso

El impacto de la matriz de polivalencia es dar a los líderes de cada turno una base de datos directa de las cargas que dominan cada uno de sus relés, relés que, a su vez, conocen cada una de las cargas; logró retroalimentar a los líderes con respecto a esas condiciones desfavorables que dificultaban el excelente desarrollo de la carga de poner una acción correctiva inmediata. Fue posible colocar los relés en una posición fija para que manejen las cargas estudiadas en la matriz, con la calidad y eficiencia requerida en la línea y al mismo tiempo tener un propietario responsable de los problemas de un área determinada.

Tablero Andon. También se generó el tablero de resultados (Figura 8), una herramienta de control visual utilizada para incluir diversos indicadores e información relevante (Acharyaa, 2011). “La intención del sistema de control visual es que todo el lugar de trabajo esté configurado de modo que cualquier persona, en cuestión de minutos conozca lo que está pasando, entiende el proceso, y lo que se está haciendo correctamente o que está fuera de lugar”. Esta herramienta fue diseñada para mostrar que el hecho de que las personas sean conscientes de su desempeño influye en el resultado de sus procesos. A excepción de otras placas de línea de montaje, esta placa se centra única y exclusivamente en los operadores de líneas de montaje. Se propuso requerir el apoyo de cada uno de los departamentos correspondientes para mantener actualizada la información de cada campo, semana a semana.

El impacto de esta herramienta cumple dos funciones; en primer lugar, proporcionar un espacio que hiciera sentir al operador una parte importante del proceso, al encontrar información a su alcance y fácil comprensión que le permitiera participar más allá de sus actividades de montaje y refrescar temas de calidad, seguridad, medio ambiente y otros que con el paso del tiempo se dejan de lado. En segunda instancia, crear un entorno de información a nivel operativo respecto a metas y defectos generados por cada turno, concientizar sobre aquellas acciones que impactan en el proceso que realizan, y generar un medio de sana competencia entre turnos para mejorar sus resultados.

Figura 8
Matriz de polivalencia para relés de estaciones de enrutamiento.

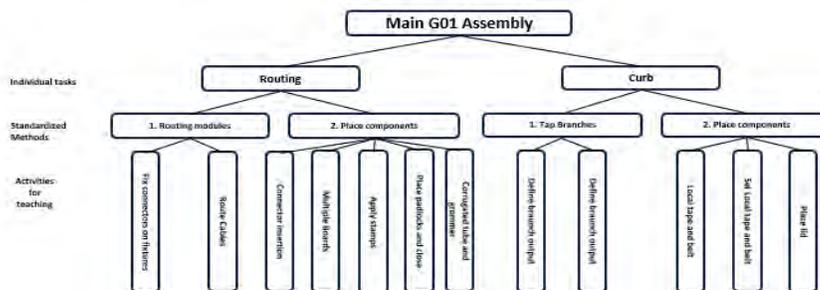


Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Desarrollo del talento. Se trata de una técnica que se centra en el fortalecimiento de las habilidades prácticas del personal, de acuerdo con Ospina (2022), “disponer de éste nuevo rol de gestión humana potencializará el desempeño de la organización y le permitirá mejorar su desempeño con respecto a los objetivos propuestos para la producción desarrollo, formación, rendimiento y eficiencia”. Es por eso que sugirió incluir capacitación práctica antes de ingresar a la línea la semana de inducción y capacitar al nuevo personal operativo dirigido a la línea de montaje identificando aquellas actividades críticas en el futuro puesto que ocupen los operarios y proporcionando los medios necesarios para llevar a cabo dicha formación práctica.

El enrutamiento y la grabación se consideraron tareas críticas ya que, de todos los defectos, la mayoría se generan en este par de áreas (Figura 9).

Figura 9
Identificación del conocimiento crítico



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

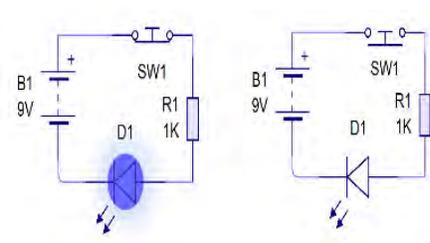
Estaciones para formación práctica. El siguiente diseño para la capacidad del área de capacitación se propuso con la ayuda de las estaciones de capacitación para la empresa, donde 10 operadores al mismo tiempo pueden desarrollar su capacitación práctica o, el Manual del Instituto Lean Six Sigma recomienda una persona calificada en cada instrucción de trabajo por cada diez empleados, por lo que 5 tableros de capacitación práctica distribuidos en el área de capacitación darían un buen apoyo a 10 personas. Enrutar los módulos, definir las salidas de la rama al pegar y el uso del encabezado; estas son actividades críticas dentro del montaje del arnés, actividades que se cubrirían en el área de capacitación propuesta.

Poka Yoke. Y por último, el método de Poka Yoke, de acuerdo con Acuña (2004), “se refiere al concepto de diseño en el cual se considera como evitar que se cometan errores sea por confusión o ignorancia”, método que se recomendaba para evitar ramas cortas y/o largas; defecto generado por causas provenientes principalmente de las áreas

de enrutamiento, se recomendó la modificación de las placas que unen a cada uno de los accesorios un dispositivo de advertencia Poka Yoke que por medio de luz pone en aviso a los operadores de aquellos componentes que no están completamente fijados al accesorio, a través del método de contacto donde, el dispositivo sensible detecta la presencia del conector. El medidor utilizado en este sistema Poka Yoke entra en la categoría de medidor de contacto, el interruptor de límite o micro interruptor se encarga de verificar la presencia y posición del objeto, un interruptor equipado con luz para un fácil uso.

Para la elaboración del Poka Yoke, se propuso un circuito para cada conector (Figura 10), con una fuente de alimentación de 9 voltios, un interruptor de límite normalmente cerrado (los focos están encendidos hasta que el contacto del conector en el accesorio abre el interruptor), una resistencia de 1 K Ω y un diodo LED azul ultrabrillante de 3.6 V.

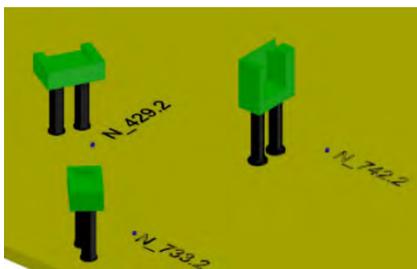
Figura 10
Circuito para el desarrollo del dispositivo Poka Yoke Warning.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

En la placa de montaje (Figura 11), el dispositivo Poka Yoke ilumina cada posición donde se encuentra un accesorio antes de colocar el conector, para advertir al operador de aquellos conectores que no arregló, teniendo que avanzar la placa entonces, con todos los LED apagados asegurándose de que todos los accesorios se usaron en el enrutamiento.

Figura 11
Vista del dispositivo Poka Yoke en la placa de montaje.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Se sugirió la aplicación de un dispositivo de advertencia Poka Yoke como herramienta de apoyo visual para que la rutina y la presión de tiempo no adviertan al operador de aquellas posiciones en las que no colocó los conectores en el accesorio, asegurándose de que la rama esté fija y se eviten defectos. Los LED encendidos advierten a los líderes y relés que está funcionando incorrectamente y puede retroalimentar al operador para que el arnés avance con los LED apagados, también serviría para que el operador informe inmediatamente esos sujetadores en los accesorios; que no son funcionales para reportar al mantenimiento y todos los accesorios están en condiciones de montar los conectores.

Resultados y Discusión

En el presente proyecto se representó como una nueva etapa en los proyectos que han sido desarrollados por el área de investigación en la Compañía Alemana de Arnés Eléctricos Automotrices, ya que, por primera vez en varios años, el proyecto se centró en el área de operaciones de ensamblaje. La línea de montaje de clientes de OEM Alemana era un nuevo proyecto para la compañía y solo tenía unos meses de puesta en marcha cuando comenzó el presente

proyecto, por lo que resultó ser un desafío debido a la considerable cantidad de oportunidades de mejora encontradas. Las actividades Lean exitosas nunca provienen de libros de texto estándar dependen de la solución de problemas.

Con equipos de expertos que involucran personal interno de diferentes departamentos y diferentes niveles empresariales y consultores externos” (Protzman, 2016). Cada una de las etapas del proyecto dejó importantes aportes, en primera instancia se logró consolidar el equipo responsable de resolver los problemas de calidad de la línea Principal, con el gerente de producción, el asesor interno, el área de ingeniería, supervisores, líderes, relevos, operadores y por supuesto la persona a cargo del proyecto.

El análisis que se hizo de los problemas que presentaban en la línea de producción con respecto a los defectos de calidad, reveló la amplia necesidad de enfocar el estudio y los esfuerzos en las primeras cinco estaciones de la línea llamadas como estaciones de enrutamiento, las métricas del proceso respaldaron este enfoque determinando que los defectos que entran en las reglas de operación de Pareto tomadas en su conjunto representaban un 87% un par de defectos: rama de longitud corta y rama de longitud larga; defectos que, aunque no se generan en su totalidad en las zonas de enrutamiento son áreas que los generan en su mayoría. El enrutamiento se convirtió en una prioridad y los gráficos en tiempo real del mapeo del flujo de valor respaldaron la idea, mostrando concentraciones muy altas en tiempo real de las operaciones de enrutamiento en relación con el resto de las áreas.

Se desarrollaron 6 herramientas para la reducción de defectos, comenzando con la Instrucción de Trabajo (Esparza, 2016), en los cuales se documentarán las actividades minuciosamente con el objetivo de apoyar a los operarios para que realicen su trabajo efectivamente, o en su defecto estos instructivos realicen la fusión de guía en el caso de nuevas contrataciones, Andon (LUP), Desarrollo de Talento, Matriz de Polivalencia, Andon (tablero) y dispositivo de advertencia Poka Yoke, donde se destacó la implementación de la matriz de polivalencia para relés; una nueva práctica que no estaba disponible en la empresa lo que servirá en el futuro también para contar con operadores con múltiples habilidades que respondan a las necesidades de los tableros de montaje.

La búsqueda práctica de la funcionalidad de los componentes era una actividad muy beneficiosa también y que nunca se había llevado a cabo en las líneas de montaje, esta práctica reveló un estudio detallado en la placa de montaje de aquellos componentes que aunque el diseño de enrutamiento los sugería, no eran funcionales para el operador por lo que se sugirió que fueran reemplazados o soportados por los dispositivos auxiliares que se presentaban como un aporte extra a la componentes de la placa para fijar los conectores en el accesorio, los cables en el T01 y T02, así como los eslabones para mantener las ramas dentro de la horquilla y así proporcionar al operador los medios necesarios para llevar a cabo su funcionamiento correctamente.

Se logró una reducción de defectos en la línea Principal G01 de 17.98%, con solo una fracción de la implementación de todas las herramientas lean del proyecto, mostrando luego la evidencia de la factibilidad de las propuestas que, en su totalidad, destacan un beneficio - costo de 7.38%, una tasa interna de retorno de 44% y una recuperación de la inversión en 52 días desde su inicio.

Conclusiones

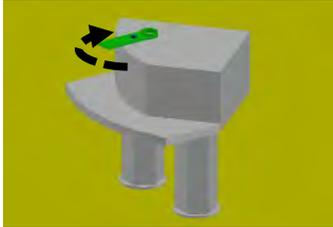
Se realizó una prueba piloto en los tres turnos de la implementación, se determinó un área dentro de las cinco estaciones de enrutamiento para cada relé. Para desarrollar la simulación de cómo se comportaron los defectos de la línea antes de implementar la prueba piloto, se utilizaron datos de la métrica de proceso de defectos de calidad internos. Se realizó la simulación del comportamiento del proceso antes de ejecutar la mejora, y se obtuvo un total de salidas medias de 2.343 piezas de arnés, de las que se obtuvo una media semanal de 178 arneses con defecto.

Las ubicaciones (estaciones de trabajo) trabajan al 93% de su capacidad. Viendo la capacidad como un estado múltiple en la totalidad de las estaciones, resultó que cuando la estación 1 está completamente ocupada como el resto de las estaciones, la estación 20 está esperando que se monte el arnés; por lo que reduce un 13% de su capacidad en cada ciclo de montaje.

Se realizó una corrida de 35 réplicas, para conocer el comportamiento futuro de los defectos tras la implantación y se obtuvo un total de 2343 arneses producidos, con una media de defectos, de las 35 semanas simuladas, tras la implantación, de 146 piezas defectuosas, frente al comportamiento de la línea antes de implementar mejoras con una media de defectos de 178 piezas defectuosas sobre 2343 producidas, se determinó un porcentaje de reducción de defectos del 17,98% con la simulación.

Elemento de sujeción para conectores. El presente dibujo (Figura 12) se refiere a un elemento que se propuso colocar en el borde del accesorio; para evitar que el operador no fije los conectores en el accesorio al enrutar. Una contribución que evita en gran medida los defectos de: rama de longitud corta y rama de longitud larga. Este elemento tiene un tornillo que funciona como un eje central y permite al operador fijar y soltar el conector cuando sea necesario.

Figura 12
Elemento con eje central para fijar los conectores en el accesorio.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Este aporte beneficia significativamente al mantenedor de los componentes mencionados en la luminaria y no afecta a las zonas posteriores al área de enrutamiento, así como, facilita al operador una vez fijado el extremo del módulo para continuar enrutando todo el módulo.

Liga para mantener las ramas dentro de la bifurcación. El presente dibujo es el diseño del responsable del proyecto y hace referencia a una banda que se propuso colocar en la horquilla (Figura 13), de manera que las ramas de los módulos no se queden fuera de la horquilla al realizar el enrutamiento y se provoque una rama final corta o larga. También se agrega un tornillo que funciona como un soporte de correa en la placa de ensamblaje.

Figura 13
Liga propuesta para mantener las ramas dentro de la bifurcación.

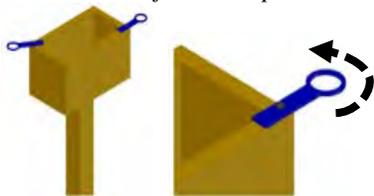


Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Aquellas horquillas en las que se detectó que debido a las variantes del arnés la mala práctica de cables en el exterior incluso cuando el operador hacía bien el enrutamiento, era imprescindible proponer este enlace que los cables de la horquilla se aseguraran y mantuvieran y evitar defectos en las longitudes del ramal.

Pestaña con eje central. Este dibujo es el propio diseño del jefe de proyecto y se refiere a un elemento (Figura 14), que se propuso colocar en el borde del componente del producto, para evitar que el operador al realizar el enrutamiento deje fuera cables causando ramas cortas y / o largas.

Figura 14
Elemento con eje central para evitar cables en el exterior.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Un elemento que se planteó como idea para impactar en la reducción de cables mal ensamblados, condición que es evidente tablero por tablero, este factor genera mayoritariamente tensiones y cables cortos en el ramal, que se reflejan en defectos principalmente.

Se cumplió el objetivo de la disminución de defectos en una línea de ensamble a través del trabajo conjunto del equipo de implementación con la selección y ejecución de las técnicas seleccionadas de Lean Manufacturing “los kits de herramientas Lean y Six-Sigma se utilizarán según sea necesario, y se implementarán los sistemas apropiados para impulsar la mejora” (Holt, 2019).

Referencias bibliográficas

- Abebe, A. (2021). Implementation of Kaizen 5S, MUDA, and PDCA for Productivity Improvement of Manufacturing Firms in Ethiopia: The Mediating Role of PDCA and Waste (Muda) Elimination between 5S and Productivity Improvement. Consultado en <http://hdl.handle.net/123456789/6810>
- Acharyaa, T (2011). Material Handling and Process Improvement Using Lean Manufacturing Principles. *International Journal of Industrial Engineering* 18 (7): 357–68. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=64305967&lang=es&site=ehost-live>.
- Acuña, O. (2004). Diagnóstico de la Implementación de Manufactura Esbelta en una Empresa de Arneses Eléctricos para la Industria Automotriz. Consultado en https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/572113/DocsTec_1798.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brown, C. (2019). Why and how to employ the SIPOC model. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 12(3), 198–210. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=135613394&lang=es&site=ehost-live>.
- Cabrera, C. (2014). Entrenamiento continuo. En *Manual de Lean Manufacturing: TPS Americanizado*. (56-57). Editorial AOTS. Consultado en <https://www.coursehero.com/file/61475162/Manual-de-Lean-Manufacturing-TPS-Americapdf/>
- Calero, L., Suastes, W. et al. (2017). Cadena de valor hexagonal general. *Boletín de valor hexagonal general. Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*. <https://doi.org/10.29057/est.v2i4.2150>
- Chick, G. (2016). Case Study: Strategic Cost Management : Lean Production at a Global Vehicle Manufacturer. Kogan Page. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1335058&lang=es&site=ehost-live>
- Chien, H. (2015). Making formwork construction lean. *Journal of civil engineering and management* volume 21(4): 444–458 Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/Value-stream-map-for-current-formwork-construction-practices_fig2_277656174 doi:10.3846/13923730.2014.890655
- Diaz Muñoz, G.A., & Salazar Duque, D.A. (2021). La calidad como herramienta estratégica para la gestión empresarial. *Podium*, 39,19–36. doi:10.31095/podium.2021.39.2
- Domingo, R. T. (2015). Identifying and eliminating the seven wastes or muda. *Asian Institute of Management, godina nepoznata*, 1–4. <https://rtdonline.com/BMA/MM/SevenWastes.pdf>
- Durán J., Ruiz, E., Espinoza, A., García A., Andrade, P., Aguilar, J., & Ruiz, J. (2019). Automatización del Proceso de Aplicación de PA-5 en Troquelado de Terminales Críticas. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: División De Ciencias Económicas Y Sociales*, (31), 27. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.v0i31.269>
- Esparza, B.A (2016) Diseño del sistema de gestión de calidad (sgc) basado en la norma iso 9001:2008 para preparar la certificación de una empresa de electrificaciones de baja y media tensión *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2016* Elibro Online con ISSN 1946-5351, Consultado en: <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/600f4848182ead00c0bb5c8c/1611614288448/Memorias+del+Congreso+Celaya+2016++Tomo+10.pdf>
- Fairris, D. and Tohyama, H., "Productive efficiency and the lean production system in Japan and the United States," *Economic and Industrial Democracy*, vol. 23, pp. 529-554, 2002. Recuperado de: <https://library.fes.de/libalt/journals/swetsfulltext/15872778.pdf>
- García, R. (2006). Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Grzelczak A, Lewandowska, K. (2016) Eliminating Muda (Waste) in Lean Management by Working Time Standardization. *Arabian J Bus Manag Review* 6: 216. doi:10.4172/2223-5833.1000216
- Hernández, J. & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing*. Madrid: Fundación EOI. Recuperado de : <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/78202/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>

- Holt, P. (2019). *Leading with Lean : An Experience-Based Guide to Leading a Lean Transformation*. Management Impact Publishing. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=2453404&lang=es&site=ehost-live>.
- Lewis, P., & Cooke, G. (2013). Developing a lean measurement system to enhance process improvement. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 4(3), 145-151. Consultado en: <https://www.metrology-journal.org/articles/ijmqe/pdf/2013/03/ijmqe130058.pdf>
- Lima, A. (2016). ¿Cómo realizar una matriz de competencias? Abril 24, 2020 de ISOTools excellence Recuperado de: <https://www.isotools.org/2016/11/02/realizar-una-matriz-competencias/>
- Martínez López, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad en Madrid España: Fundación Confemetal*. <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>
- Martínez Martínez, A. (2021). Implementation of Lean Manufacturing through the Reconstruction of its Trajectory: An Experience of an Auto Parts Company in Mexico. *Análisis Económico*, 36(93), 99–118. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2021v36n93/>
- Martínez, M.A y Morales, J. (2022). Lean Six Sigma para la mejora de procesos. Universidad Miguel Hernández 2022. <https://editorial.umh.es/2022/01/13/lean-seis-sigma-para-la-mejora-de-procesos/>
- Okpala, C. C. (2014). Tackling muda the inherent wastes in manufacturing processes. *Int J Adv Engg Tech/Vol. V/Issue IV/Oct.-Dec*, 6, 11. Consultado en: <https://www.technicaljournalonline.com/ijeat/VOL%20V/IJAET%20VOL%20V%20ISSUE%20IV%20%20OCTBER%20DECEMBER%202014/Vol%20V%20Issue%20IV%20Article%202.pdf>
- Ospina, W. (2022). Importancia sobre el desarrollo del talento humano basado en competencias. Universidad cooperativa de Colombia Recuperado de: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/7da6fb88-ea9e-4a6d-9398-d177525bc365/content>
- Protzman, C. Whiton, F. et al (2016). *The Lean Practitioner's Field Book : Proven, Practical, Profitable and Powerful Techniques for Making Lean Really Work*. Productivity Press.
- Páez Rojas, D. , & Rodríguez, J.. (2016) Cadenas productivas en la industria automotriz en la región centro-bajío de México. *Jóvenes de la ciencia*, 4(1), 1352 -1355. Recuperado de: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2449>
- Pérez-Rave, J., Cortés-Zapata, S., & Restrepo-Rico, D. A. (2015). Micro-world of “The airplane of the muda”: A systemic approach to Lean. *Ingeniería Industrial*, 36(3), 238–252.
- Pieńkowski, M. (2014). Waste measurement techniques for lean companies. *International Journal of Lean Thinking*, 5(1), 9-24. Consultado en <https://pdf4pro.com/amp/view/waste-measurement-techniques-for-lean-20611b.html>
- Salazar, B. (2020) Lección de un punto (LUP – OPL). *Ingeniería Industrial online.com* Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/leccion-de-un-punto-lup-opl/>
- Siddiqui, A. (2021). Comparing the Workplace Organization Method 5s with the 7 Wastes (Muda) in Waste and Failure Management Tool, in the Health Care Quality Management. *Biomed J Sci & Tech Res*, 40(1), 31825-31831. DOI: 10.26717/BJSTR.2021.40.006387
- Simboli, A., Taddeo, R. and Morgante, A. (2014). "Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency" *Administrative Sciences* 4, no. 3: 173-191. <https://doi.org/10.3390/admsci4030173>
- Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87019757005.pdf>
- Stephens, M. (2019). *Manufacturing Facilities Design & Material Handling : Sixth Edition: Vol. Sixth edition*. Purdue University Press. <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/140-Manufacturing-Facilities-Design-Material-Handling-Matthew-P.-Stephens-Fred-E.-Meyer-Edisi-5-2013.pdf>
- Suárez, A, & Novau, A. (2020). *Estrategia y operaciones esbeltas: Vol. Primera edición*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=2766949&lang=es&site=ehost-live>
- The New Lean Pocket Guide: Tools for the Elimination of Waste! (2007). MCS Media, Inc. Recuperado de <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=441005&lang=es&site=ehost-live>
- Tofan, C. A., & Balteanu, A. M. (2022). Study on the Application of Kanban Methods in a Production Flow. *Review of Management & Economic Engineering*, 21(3), 198–207. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=159586703&lang=es&site=ehost-live>.

REGRESIÓN LINEAL PARA PREDECIR LA MOTIVACIÓN INTRÍNSECA COMO INDICADOR EN ALUMNOS DEL TECNM CAMPUS PURUÁNDIRO

Cristian Alexis Villegas Bedolla¹, Rodolfo Cisneros González²
María Ximena Rodríguez Espinoza³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 02/08/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen. - Se planteó una investigación estadística para identificar las principales causas de desmotivación estudiantil en el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro. Se diseñó un instrumento de recolección de datos basado en una escala de Likert, que evaluó quince variables cualitativas relacionadas con el rendimiento académico de los estudiantes de nivel superior. La muestra consistió en un número significativo de alumnos inscritos en el instituto. Las respuestas obtenidas fueron analizadas utilizando el software estadístico SPSS, mediante un modelo de regresión lineal múltiple. Esto permitió determinar las variables más significativas en el modelo estadístico y evaluar la confiabilidad del instrumento utilizado, así como validar la relación entre las variables independientes y la problemática estudiada. Los resultados del modelo de regresión revelaron el impacto de cada variable independiente en la desmotivación estudiantil. Si bien el modelo de regresión no fue confiable para predecir la evolución futura de la problemática, proporcionó información clara sobre las variables y datos que deben modificarse para mejorar la confiabilidad del estudio y generar propuestas de mejora. Los resultados obtenidos brindan una base sólida para proponer mejoras en el sistema educativo, al destacar las variables que requieren atención y los cambios necesarios para abordar la problemática de la desmotivación estudiantil.

Palabras Clave: Estadística, regresión, variables.

LINEAR REGRESSION TO PREDICT INTRINSIC MOTIVATION AS AN INDICATOR IN STUDENTS OF TECNM CAMPUS PURUANDIRO

Abstract. - A statistical research was conducted to identify the main causes of student demotivation at the Technological Institute of Puruandiro. A data collection instrument based on a Likert scale was designed to evaluate fifteen qualitative variables related to the academic performance of higher-level students. The sample consisted of a significant number of enrolled students at the institute. The obtained responses were analyzed using the statistical software SPSS, through a multiple linear regression model. This allowed determining the most significant variables in the statistical model and evaluating the reliability of the instrument used, as well as validating the relationship between the independent variables and the studied problem. The results of the regression model revealed the impact of each independent variable on student demotivation. Although the regression model was not reliable in predicting the future evolution of the problem, it provided clear information about the variables and data that need to be modified to improve the reliability of the study and generate improvement proposals. The obtained results provide a solid basis for proposing improvements in the educational system, highlighting the variables that require attention and the necessary changes to address the problem of student demotivation.

Keywords: Statistical, regression, variables.

Introducción

La problemática de la falta de motivación entre los estudiantes es un desafío global que ha experimentado un aumento significativo en la última década, especialmente entre aquellos que cursan niveles de educación media y superior. Aldana, Pérez y Gutiérrez (2018) se adentran en la investigación de la relación entre la motivación y el rendimiento académico en estudiantes universitarios. Según la definición de Ramírez y Olmos (2020), la motivación en el ámbito

¹Maestro en Calidad para la Productividad por la Universidad Virtual del Estado de Michoacán en 2023. Docente del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, adscrito a la academia de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0004-8694-9061> cristian.villegas@puruandiro.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

²Estudiante de quinto semestre del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, del programa educativo de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0002-8762-9663> roycisglez378@gmail.com

³Estudiante de quinto semestre del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, del programa educativo de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0008-9587-6721> ximenarodriguez145@gmail.com

educativo es una fuerza impulsora que impulsa el proceso de aprendizaje. Naranjo (2010) agrega que varios factores, tanto personales como académicos, pueden influir en el nivel de motivación, y destaca la importancia de la actitud del docente como uno de los elementos académicos que pueden contribuir a la desmotivación estudiantil.

Por otro lado, Bonilla, Chávez y Pérez (2018) se centran en explorar cómo la motivación intrínseca afecta al rendimiento académico de estudiantes de educación media superior. Su investigación revela que una actitud positiva por parte de los estudiantes favorece la adopción de hábitos de estudio efectivos, mientras que una actitud negativa puede llevar a la procrastinación, lo que, según las conclusiones de Freixa, Llanes y Venceslao (2018), ha resultado en una disminución de hasta el 32% en la matrícula de estudiantes en las instituciones educativas de México. Sin embargo, las causas subyacentes de la desmotivación son diversas y pueden variar según factores internos y externos, como la ubicación geográfica o la institución académica. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un análisis interno para identificar las variables clave que contribuyen a la desmotivación de los estudiantes de nivel superior en el ITESP.

Asimismo, Alarcón, García y Torres (2020) enfatizan la importancia de utilizar métodos estadísticos adecuados para realizar análisis de datos rigurosos en investigaciones sociales. En contraste, Alcántara, Ramírez y Sánchez (2019) previamente aplicaron el análisis de regresión lineal múltiple en el ámbito económico. En este estudio, nuestro objetivo principal es abordar esta problemática a través de un análisis estadístico detallado utilizando el método de regresión lineal múltiple. Nuestra meta fundamental es investigar la relación entre las variables independientes y la variable dependiente. Cabe destacar que Barrientos, González y Ramírez (2019) desarrollaron un modelo de regresión lineal múltiple para prever el rendimiento académico de estudiantes de ingeniería. Durante esta investigación, además de replicar su enfoque, evaluaremos la confiabilidad del instrumento utilizado en los resultados obtenidos.

Marco teórico

Aplicaciones de la regresión lineal múltiple en el ámbito académico

En el vasto universo de la investigación académica, la regresión lineal múltiple emerge como una brújula invaluable, capaz de adentrarse en los intrincados laberintos de las relaciones entre variables diversas. Esta técnica estadística poderosa ha hallado aplicaciones profundamente significativas en una amplia gama de estudios que se sumergen en las preguntas cruciales que subyacen en los campos de la educación.

Un ejemplo ilustrativo es la trayectoria de Cárdenas, Mendoza y Ortega (2019), quienes decidieron navegar por las complejas redes de relaciones entre variables académicas en estudiantes universitarios, valiéndose de la regresión lineal múltiple. Su investigación es un viaje en busca de desentrañar cómo factores específicos ejercen su influencia en el rendimiento académico de estos jóvenes en proceso de formación. De manera similar, Casanova, González y Suárez (2018) se sumergen en el entorno educativo, explorando con detenimiento la motivación y el aprendizaje. Utilizando la regresión lineal múltiple como su herramienta de elección, desentrañan meticulosamente la compleja interacción entre estas dos variables y cómo repercuten en el contexto de la enseñanza.

Por otro lado, De la Cruz, Rodríguez y Vargas (2018) enfocan sus esfuerzos en el mundo de la motivación de estudiantes de secundaria, estableciendo una clara distinción entre la motivación intrínseca y extrínseca. Con la regresión lineal múltiple como aliada, se sumergen en las profundidades de cómo estos diferentes tipos de motivación pueden moldear el rendimiento académico. Además, Díaz, Jiménez y Rodríguez (2020) hacen énfasis en la trascendencia de utilizar métodos estadísticos en la investigación en psicología, destacando la aplicación de la regresión lineal múltiple para arrojar luz sobre los enigmas de los fenómenos psicológicos.

En una línea distinta, Fuentes, Rangel y Sánchez (2018) enfocan su investigación en estudiantes de ingeniería universitaria, explorando con minuciosidad la relación entre la motivación y el desempeño académico. La elección de la regresión lineal múltiple como herramienta les permite examinar en profundidad cómo estas dos variables se entretajan en el contexto específico de la ingeniería.

Por su parte, García, Hernández y Ortiz (2019) centran su atención en los estudiantes de secundaria, buscando comprender cómo la motivación puede ser un factor determinante en su rendimiento escolar. En esta exploración, la regresión lineal múltiple se convierte en la piedra angular que utilizan para desvelar las intrincadas relaciones en juego. Gómez, Ríos y Soto (2018), por su parte, profundizan en los intrincados modelos de regresión lineal y múltiple en el contexto de la investigación educativa. Su enfoque se centra en cómo estas potentes técnicas estadísticas pueden ser utilizadas para analizar datos complejos en el ámbito educativo.

Finalmente, González, Hernández y Méndez (2020) aplican la estadística al campo de la educación en un sentido más amplio, buscando comprender cómo los métodos estadísticos pueden servir como una brújula valiosa para mejorar la toma de decisiones en este campo esencial. Jiménez, Ortiz y Pérez (2018), por su parte, investigan la motivación intrínseca y extrínseca en estudiantes de educación primaria, utilizando la regresión lineal múltiple como su herramienta central para descifrar cómo estas diversas formas de motivación pueden influir de manera significativa en el desempeño académico.

Aplicaciones en otras áreas

En diversas áreas académicas y profesionales, la regresión lineal múltiple se erige como una herramienta poderosa. En un contexto de exploración estadística y empleo del coeficiente de correlación. Cervantes, Martínez y Ramírez (2020) se enfocan en desentrañar las complejas conexiones entre variables estadísticas, destacando su relevancia en el ámbito de la estadística y la programación.

Más allá de esta disciplina, su utilidad se extiende a la anticipación del rendimiento laboral. Chávez, Flores y Mendoza (2019) aplican este método con el fin de prever el desempeño de profesionales de la salud, arrojando luz sobre cómo diversos factores, desde la formación hasta la experiencia, influyen en su trabajo en entornos clínicos y de investigación.

En la industria, Esquivel, Méndez y Vargas (2019) exploran la regresión lineal múltiple para pronosticar el rendimiento laboral. Aquí, esta técnica ayuda a identificar elementos cruciales, como la capacitación y la eficiencia de los procesos, que impactan significativamente en el desempeño de los trabajadores. El sector de servicios no queda excluido, ya que Hernández, Mendoza y Ramírez (2019) desarrollan un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el rendimiento laboral de los trabajadores en este ámbito. Esta herramienta resulta fundamental para entender cómo variables como la satisfacción del cliente y la formación afectan el desempeño laboral.

Además, León, Méndez y Torres (2020) subrayan la importancia de los métodos estadísticos en la psicología y en otros campos como la economía, la sociología y la investigación de mercado. La regresión lineal múltiple, en particular, emerge como una herramienta valiosa para modelar relaciones entre diversas variables y respaldar la toma de decisiones informadas.

Uso de Minitab y SPSS en la regresión lineal múltiple

Dentro de la investigación estadística y el análisis de datos, la adopción de herramientas como SPSS y Minitab se ha convertido en una práctica arraigada. Estas aplicaciones brillan especialmente cuando se trata de abordar análisis de alta complejidad, como la regresión lineal múltiple. A continuación, presentamos un marco contextual que vincula estos fragmentos narrativos con el empleo de SPSS y Minitab:

Exploración Estadística y Regresión Lineal Múltiple con SPSS: Rodríguez, Suárez y Vargas (2020) se aventuran en el análisis estadístico y optan por la utilización de SPSS para llevar a cabo un estudio exhaustivo de regresión lineal múltiple. SPSS, ampliamente reconocido en el ámbito de la estadística, facilita la manipulación y el análisis de datos de alta complejidad. Esto les permite explorar relaciones significativas entre múltiples variables en su investigación.

Influencia de la Motivación en el Rendimiento Escolar: Sánchez, Torres y Vargas (2019) se entregan a la investigación de cómo la motivación impacta en el rendimiento escolar de estudiantes de secundaria. En esta empresa, la aplicación de técnicas de análisis estadístico, incluyendo la regresión lineal múltiple con la ayuda de herramientas como SPSS, les brinda la capacidad de cuantificar y comprender la intrincada relación entre la motivación y el desempeño académico.

Análisis Estadístico y Regresión Lineal Múltiple con SPSS: Gallegos, Medina y Navarro (2020) también eligen el camino de SPSS para llevar a cabo análisis estadísticos y abordar la regresión lineal múltiple en su investigación. SPSS, con su capacidad para manejar y analizar datos complejos, les proporciona la plataforma necesaria para explorar relaciones significativas entre múltiples variables en su estudio.

Referencia a Otras Fuentes: Cabrera, Soto y Medina (2020) podrían haberse beneficiado de herramientas como SPSS o Minitab en su propia investigación, aunque estas no se mencionan explícitamente en esta cita.

Contexto General: Además, las menciones a obras como "Análisis Estadístico de Datos: Técnicas y Aplicaciones" de Navarro, Ortiz y Ríos (2020) resaltan la importancia de las herramientas estadísticas en la investigación. En particular, este tipo de literatura a menudo proporciona pautas sobre cómo emplear software estadístico, como SPSS o Minitab, para llevar a cabo análisis rigurosos.

Utilización de SPSS en Investigación Universitaria: Pérez, Ramírez y Sánchez (2019) hacen hincapié en la utilización de SPSS en su estudio de regresión lineal múltiple para investigar la relación entre variables académicas en estudiantes universitarios. Esta referencia subraya cómo SPSS se erige como una herramienta esencial en la investigación académica para analizar datos complejos y realizar análisis estadísticos avanzados.

Objetivo general

Diseñar un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el nivel de motivación intrínseca en los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro y así poder abrir la posibilidad de sugerir una propuesta de mejora ante la situación de desmotivación académica por parte del alumnado de la institución.

Objetivos específicos

- Desarrollar y aplicar una encuesta para la recolección de datos.
- Analizar los datos obtenidos para generar el modelo de regresión lineal múltiple.
- Obtener la ecuación de regresión lineal múltiple para predecir el comportamiento que tendrá la variable de respuesta.
- Definir la hipótesis nula y alternativa para establecer las predicciones del modelo de regresión.
- Realizar un análisis de varianza para definir si se rechaza o acepta la hipótesis nula en base a los criterios de aceptación y rechazo.

Materiales y Métodos

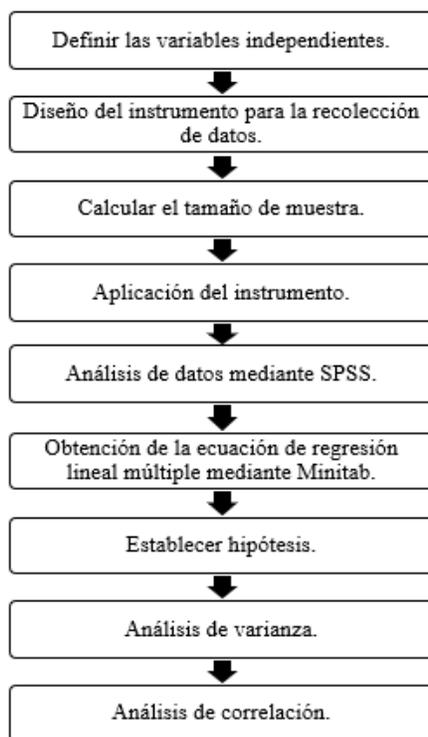
La creación de un modelo de regresión lineal múltiple se basa en dos tipos de investigación, la investigación de campo y la investigación documental, para obtener datos relevantes y completos que permitan identificar y analizar las relaciones entre múltiples variables.

Investigación de campo: Este tipo de investigación implica la recopilación directa de datos de la realidad, generalmente mediante encuestas, entrevistas o experimentos. En el caso de la creación de un modelo de regresión lineal múltiple, la investigación de campo puede involucrar la obtención de datos de una muestra representativa de individuos, grupos o elementos del estudio, que en este caso serían los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro. La investigación de campo proporciona datos empíricos y concretos sobre las variables que se desean analizar, como el rendimiento académico, la motivación intrínseca y otros factores que pueden influir en la desmotivación estudiantil. Estos datos permiten establecer una relación más realista y precisa entre las variables, lo que es esencial para construir un modelo de regresión lineal múltiple significativo.

Investigación documental: Por otro lado, la investigación documental consiste en revisar y analizar fuentes escritas, como artículos científicos, libros, informes o bases de datos, para obtener información relevante sobre el tema de estudio. En el contexto de la creación de un modelo de regresión lineal múltiple, la investigación documental puede ser útil para identificar estudios previos relacionados con la desmotivación estudiantil, los factores que influyen en ella y las metodologías utilizadas en investigaciones similares. La investigación documental proporciona una base teórica sólida para el estudio y ayuda a definir las variables relevantes y las hipótesis que se desean probar en el modelo de regresión lineal múltiple. Además, permite contextualizar el tema de investigación en el marco de conocimientos previos y teorías existentes.

En conjunto, la investigación de campo y la investigación documental proporcionan un enfoque integral para la creación de un modelo de regresión lineal múltiple, permitiendo una aproximación rigurosa y fundamentada a la relación entre las variables y la identificación de los factores que influyen en la desmotivación estudiantil en el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro.

Figura 1. Metodología empleada.



Nota: Elaboración propia.

Definir las variables independientes

La regresión lineal múltiple es una técnica estadística poderosa y ampliamente utilizada para modelar la relación entre una variable dependiente y múltiples variables explicativas. Al emplear más de una variable dependiente en su estudio, este enfoque permite capturar la complejidad de las relaciones entre las variables y nos brinda la oportunidad de aprovechar una gran cantidad de información al construir nuestro modelo.

Uno de los primeros pasos esenciales en el proceso de regresión lineal múltiple implica la precisa definición de los factores que serán objeto de estudio. Estos factores, también conocidos como variables explicativas o predictoras, requieren una selección cuidadosa basada en una sólida base de conocimientos teóricos y evidencia empírica pertinente al problema bajo consideración. Al elegir con acierto las variables pertinentes, podemos garantizar que nuestro modelo sea lo más representativo y efectivo posible para explicar las variaciones observadas en la variable dependiente.

Es importante mencionar que, para obtener resultados confiables y significativos, se deben cumplir ciertas suposiciones en la regresión lineal múltiple. Algunas de estas suposiciones incluyen la linealidad de la relación entre las variables, la independencia de los errores, la normalidad de los residuos y la homocedasticidad (es decir, la constancia de la varianza de los errores). En la práctica, es fundamental verificar y validar estas suposiciones para asegurar que el modelo sea válido y útil para hacer predicciones o inferencias. Los valores de la variable dependiente Y han sido generados por una combinación lineal de los valores de una o más variables explicativas y un término aleatorio.

Siendo:

x_1 = Reconocimiento docente (El docente reconoce tu esfuerzo como estudiante).

x_2 = Elección de carrera (La carrera que estas cursando fue tu primera opción).

x_3 = Carga de trabajo (Existe equilibrio en la carga académica en todas tus asignaturas).

x_4 = Accesibilidad de transporte (Hay accesibilidad de transporte público para trasladarte de tu domicilio a la escuela y viceversa).

x_5 = Calificaciones adecuadas (Consideras que las calificaciones que obtienes dependen del esfuerzo y las ganas que le dedicas al estudio).

- x_6 = Reconocimiento familiar (Tus padres reconocen el esfuerzo y el empeño que le dedicas al estudio).
- x_7 = Presión familiar (Tus padres te exigen buenas calificaciones).
- x_8 = Horas de sueño (Tus horas de sueño son suficientes para rendir académicamente).
- x_9 = Visión profesional (Las visitas industriales y prácticas en la institución son suficientes para generar la motivación en el ámbito profesional).
- x_{10} = Metas (Estudias para tener un mejor futuro).
- x_{11} = Ambiente familiar (Consideras que existe un buen ambiente familiar en tú casa, el cual te permita concentrarte en tus estudios).
- x_{12} = Atención docente (Los docentes atienden tus necesidades como estudiante individualmente).
- x_{13} = Interés propio (Estudias porque te gusta aprender nuevas cosas).
- x_{14} = Ambiente académico (La relación y compañerismo con tu grupo es sano y ameno).
- x_{15} = Dedicación docente (La manera en la que el docente imparte sus clases despierta el interés por aprender más).

Diseño del instrumento para la recolección de datos

Con el propósito de profundizar en el análisis de los factores que influyen en la desmotivación estudiantil dentro del contexto del Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro, se llevó a cabo la creación de una encuesta cuidadosamente diseñada y dirigida específicamente a los estudiantes de esta institución académica. El objetivo principal de esta encuesta fue el de cuantificar las variables independientes que podrían estar contribuyendo a la disminución de la motivación entre los alumnos.

Para garantizar la eficacia y la fiabilidad de la encuesta, se optó por utilizar una escala de Likert, un método ampliamente reconocido en la investigación social, que permite medir actitudes, opiniones y percepciones de los participantes en relación con distintos enunciados o afirmaciones. La escala de Likert elegida constó de cinco niveles de respuesta, cada uno representando un grado diferente de acuerdo o desacuerdo respecto a las declaraciones presentadas en la encuesta. Los niveles fueron definidos como sigue: el nivel 1 correspondió a "totalmente en desacuerdo", el nivel 2 a "en desacuerdo", el nivel 3 a "indiferente", el nivel 4 a "de acuerdo" y, finalmente, el nivel 5 a "totalmente de acuerdo".

Se incluyeron preguntas pertinentes y específicas que abordaban diversas áreas relacionadas con la experiencia estudiantil, tales como el entorno académico, el apoyo institucional, la carga de trabajo, la interacción con el profesorado, las oportunidades de crecimiento y desarrollo personal, entre otros aspectos relevantes.

Una vez diseñada la encuesta, se procedió a su implementación en el campus del Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro, utilizando diversos canales de distribución para alcanzar una amplia muestra representativa de la población estudiantil. Se promovió la participación voluntaria y se alentó a los estudiantes a responder con sinceridad, enfatizando la importancia de sus aportaciones para mejorar la calidad de la educación y el bienestar estudiantil en la institución.

Calculo el tamaño de muestra

Para garantizar la validez y solidez de los resultados obtenidos en un estudio de investigación, es crucial contar con una muestra representativa que refleje fielmente las características y la diversidad de la población en cuestión. En este contexto, se llevó a cabo el cálculo del tamaño de muestra utilizando una ecuación estadística específica, con el objetivo de determinar el número óptimo de participantes que serían necesarios para desarrollar un modelo de regresión lineal múltiple con un nivel de confianza del 90%.

La población objetivo para este estudio estaba compuesta por un total de 369 alumnos inscritos en una fecha determinada, quienes representaban una muestra amplia y diversa de individuos. Para asegurar que los resultados obtenidos fueran generalizables y aplicables a la población en su conjunto, se decidió emplear la ecuación estadística para el tamaño de muestra.

El cálculo del tamaño de muestra implica una cuidadosa consideración de varios factores clave, como el nivel de confianza deseado, el margen de error admisible y la variabilidad esperada en los datos. En este caso particular, se estableció un nivel de confianza del 90%, lo que significa que existe una alta probabilidad de que los resultados obtenidos a partir de la muestra sean representativos de toda la población. Asimismo, se tuvo en cuenta un margen de error aceptable, el cual nos permite cuantificar la precisión con la que se pueden estimar las relaciones entre las variables del modelo de regresión lineal múltiple.

Luego de realizar los cálculos pertinentes, se determinó que una muestra de 58 alumnos sería suficiente para alcanzar los objetivos del estudio con el nivel de confianza previamente establecido.

Aplicación del instrumento

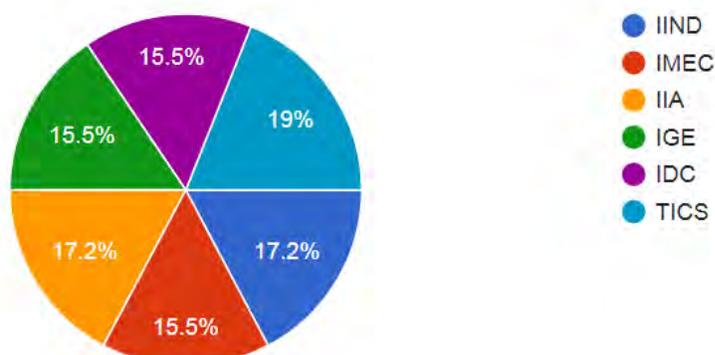
Se enfatizó la importancia de la participación voluntaria y se aseguró a los estudiantes que sus respuestas serían tratadas exclusivamente con fines de investigación. Esta estrategia fue esencial para fomentar la sinceridad y la franqueza en las respuestas, lo que en última instancia contribuiría a la fiabilidad y validez de los resultados.

La aplicación de la encuesta se llevó a cabo siguiendo un enfoque riguroso y estandarizado para minimizar cualquier sesgo o influencia externa que pudiera afectar los resultados. Se proporcionaron instrucciones claras y detalladas a los participantes, explicando el propósito de la encuesta y la forma adecuada de responder a las afirmaciones presentadas en la escala de Likert.

Una vez recopiladas todas las respuestas, se procedió a organizar y analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas apropiadas. El objetivo de este análisis fue identificar patrones y tendencias en las respuestas de los estudiantes, lo que permitiría obtener una comprensión profunda de las variables que contribuyen a la desmotivación estudiantil.

Los resultados de la encuesta proporcionaron una visión valiosa sobre la percepción de los estudiantes en relación con diversos factores que podrían estar afectando su motivación académica. Los datos recopilados permitieron identificar áreas de mejora potencial en el entorno educativo, la interacción con los docentes, el apoyo institucional y otras variables relevantes. Estas conclusiones podrían tener importantes implicaciones para la toma de decisiones y la implementación de estrategias destinadas a mejorar la calidad de la experiencia estudiantil y promover un ambiente más estimulante y enriquecedor dentro del Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro.

Figura 2. Participación aleatoria en la encuesta de los diferentes programas educativos.



Nota: Gráfico generado por la encuesta realizada en gallegos.

Análisis de datos mediante SPSS

En el marco del presente trabajo de investigación, se determinó que el coeficiente de Cronbach calculado fue de 0.822. Este resultado indica que la escala del instrumento utilizado para la recolección de datos goza de una buena fiabilidad, ya que se encuentra cercano a 1.

Esto implica que los ítems de la escala están correlacionados de manera consistente, lo que sugiere que la herramienta de medición utilizada es efectiva y confiable para capturar el constructo en estudio.

La alta consistencia interna reflejada por el valor del alfa de Cronbach otorga solidez a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación. Esto significa que las respuestas proporcionadas por los participantes a través de la escala de medida son coherentes y consistentes, lo que fortalece la validez de las conclusiones extraídas del estudio. Además, el hecho de que el coeficiente se encuentre en un nivel cercano a 1 también sugiere que los ítems de la escala están midiendo de manera confiable la misma variable subyacente, proporcionando así una visión más precisa y precisa del fenómeno analizado.

Es importante destacar que el alfa de Cronbach es solo uno de los indicadores de fiabilidad que se pueden utilizar en la evaluación de una escala de medida. Combinarlo con otros métodos de validación y análisis puede brindar una comprensión más completa y profunda de la calidad del instrumento de medición. No obstante, en el contexto del presente trabajo, el coeficiente de Cronbach de 0.822 proporciona una sólida base para afirmar que la escala utilizada es confiable y que los resultados obtenidos son consistentes y válidos.

Tabla 1. Análisis de Fiabilidad

Análisis de Fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.822	16

Nota: Elaboración propia con datos tomados del análisis realizado en SPSS.

Planteamiento de hipótesis

La hipótesis nula postula que no se encuentra evidencia de una relación lineal significativa, lo que implica que todas las variables involucradas son homogéneas.

La hipótesis alternativa, por otro lado, plantea que existe una relación lineal significativa y, en consecuencia, al menos una de las variables presenta diferencias significativas.

Análisis de varianza

De las 15 variables analizadas, se ha observado que únicamente dos de ellas, específicamente x_8 (horas de sueño) y x_9 (visión profesional), presentan un valor P menor a 0.05. Este resultado es de gran importancia, ya que indica que estas dos variables sí tienen una influencia significativa sobre la variable de respuesta, la motivación estudiantil. En otras palabras, el tiempo de sueño y la percepción de una visión profesional están directamente relacionados con el nivel de desmotivación entre los estudiantes.

Es relevante destacar que el hecho de que la mayoría de las variables no sean altamente significativas no debe ser ignorado, ya que proporciona información valiosa sobre qué aspectos no están influyendo significativamente en la desmotivación. Esto puede ser útil para enfocar los esfuerzos en aquellos factores que realmente están teniendo un impacto, como las horas de sueño y la visión profesional.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y pueden tener implicaciones importantes en el contexto educativo. Por ejemplo, si se identifica que el tiempo de sueño tiene un impacto significativo en la desmotivación, esto podría llevar a la implementación de estrategias para promover hábitos de sueño saludables entre los estudiantes. Del mismo modo, si la visión profesional influye en la motivación, se podrían desarrollar programas de orientación y asesoramiento que fomenten una perspectiva positiva y clara sobre las metas profesionales y académicas.

Tabla 2. ANOVA.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	15	14.9726	0.99817	1.33	0.226
X1	1	0.2398	0.23976	0.32	0.575
X2	1	0.3212	0.32123	0.43	0.516
X3	1	0.3359	0.33589	0.45	0.507
X4	1	0.3575	0.35750	0.48	0.493
X5	1	0.1670	0.16705	0.22	0.639
X6	1	0.4064	0.40641	0.54	0.465
X7	1	0.1036	0.10360	0.14	0.712
X8	1	5.0507	5.05072	6.74	0.013
X9	1	3.3402	3.34022	4.46	0.041
X10	1	0.6586	0.65862	0.88	0.354
X11	1	0.2661	0.26610	0.36	0.554

X12	1	0.1253	0.12534	0.17	0.685
X13	1	0.0102	0.01022	0.01	0.908
X14	1	0.3646	0.36462	0.49	0.489
X15	1	0.0360	0.03601	0.05	0.828
Error	42	31.4584	0.74901		
Total	57	46.4310			

Nota: Elaboración propia con datos tomados del análisis realizado en Minitab.

Coefficiente de correlación y determinación

El análisis del coeficiente de determinación, que en este caso alcanza un valor del 32.25%, nos conduce a una conclusión importante sobre la idoneidad del modelo matemático obtenido mediante Regresión Lineal Múltiple para explicar la variación existente entre las variables independientes y la variable dependiente, es decir, la motivación.

Tabla 3. Resultados del coeficiente de determinación.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.865454	32.25%	8.05%	0.00%

Nota: Elaboración propia con datos tomados del análisis realizado en Minitab.

El coeficiente de determinación, también conocido como R-cuadrado, es una medida esencial para evaluar la calidad y la capacidad predictiva del modelo. Representa el porcentaje de variabilidad en la variable dependiente que puede ser explicada por las variables independientes incluidas en el modelo. En este caso, el valor de R-cuadrado del 32.25% indica que solo alrededor de un tercio de la variación observada en la motivación estudiantil puede ser explicada por las variables independientes consideradas en el análisis. El resultado del coeficiente de determinación nos lleva a la conclusión de que el modelo matemático no es suficiente para capturar y explicar de manera completa la complejidad y diversidad de factores que influyen en la motivación de los estudiantes. Existe una parte significativa de la variación que no ha sido abarcada por las variables independientes del modelo, lo que limita su capacidad para hacer predicciones precisas sobre la motivación estudiantil.

Es importante destacar que, aunque el modelo no alcanza un coeficiente de determinación óptimo en este caso particular, esto no significa que la investigación carezca de valor o relevancia. Es posible que existan otros factores o variables no considerados en el análisis que influyan en la motivación estudiantil y que podrían ser objeto de estudio en futuras investigaciones. Además, el hecho de que el modelo no sea altamente predictivo no invalida los resultados obtenidos ni el proceso de investigación. Es fundamental reconocer los límites y alcances de cualquier modelo estadístico y contextualizar los resultados dentro del marco de la complejidad inherente a la conducta humana y las interacciones de múltiples variables en un entorno educativo.

La tabla 4 que a continuación se muestra, señala la correlación que tiene cada variable independiente para nuestro modelo estadístico, tomando en cuenta la escala para interpretar de Gutiérrez y de la Vara (2012) $-1 < r < 1$.

En base a esto se observa que todas las variables independientes tienen una relación débil, en su gran mayoría positivas a excepción de la 4 y 7, las cuales tienen una relación nula debido a que sus valores son cercanos a 0, por lo que se es necesario identificar las variables adecuadas que permitan mejorar el modelo y la capacidad predictora del mismo.

Tabla 4. Coeficiente de correlación individual.

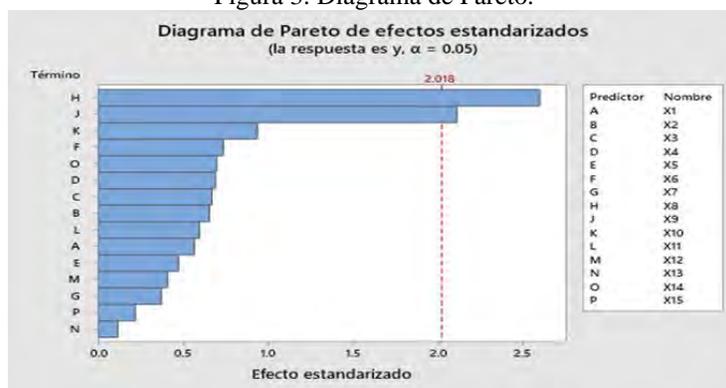
Variables	Correlación de Pearson	Interpretación	N
1	.262	Débil positiva	58
2	.255	Débil positiva	58
3	.203	Débil positiva	58
4	.021	Nula	58
5	.256	Débil positiva	58
6	.299	Débil positiva	58
7	-.094	Nula	58
8	-.221	Débil Negativa	58
9	.265	Débil positiva	58
10	.156	Débil positiva	58
11	.156	Débil positiva	58
12	.252	Débil positiva	58
13	.305	Débil positiva	58
14	.192	Débil positiva	58
15	.267	Débil positiva	58

Nota: Elaboración propia con datos tomados del análisis realizado en SPSS.

Resultados

El modelo de regresión produjo resultados valiosos que se presentaron de manera visual y comprensible mediante un diagrama de Pareto. Este diagrama resalta la significancia individual de cada una de las variables y ofrece una clara perspectiva sobre las razones detrás de la desmotivación de los estudiantes inscritos en el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro. Al analizar el diagrama de Pareto, se puede observar que dos variables, específicamente x_8 (Horas de sueño) y x_9 (visión profesional y visitas industriales), destacan como las principales causas de la desmotivación entre los estudiantes. La importancia de estas dos variables se destaca claramente en el gráfico, lo que permite identificar de manera precisa las áreas específicas en las que se debe enfocar la mejora en la institución.

Figura 3. Diagrama de Pareto.



Nota: Obtenido del análisis realizado en Minitab.

La variable x_8 , que representa las horas de sueño, emerge como un factor crítico que afecta directamente la motivación estudiantil. El hecho de que esta variable tenga un impacto significativo resalta la importancia de promover hábitos de sueño saludables entre los estudiantes para mejorar su bienestar general y, en consecuencia, su motivación y rendimiento académico.

Por otro lado, la variable x_9 , que involucra la visión profesional y las visitas industriales, también se identifica como un factor relevante que influye en la desmotivación de los estudiantes. Esto sugiere que promover una visión clara y

realista de las oportunidades profesionales, así como facilitar experiencias prácticas a través de visitas industriales, podría tener un impacto positivo en la motivación y la perspectiva futura de los alumnos.

Al enfocar los esfuerzos de mejora en estas dos áreas clave, el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro puede implementar estrategias efectivas y enfocadas que aborden directamente las causas subyacentes de la desmotivación estudiantil. Esto podría tener un impacto significativo en el ambiente educativo y en el bienestar de los estudiantes, creando un entorno más estimulante y satisfactorio para su desarrollo académico y personal.

Es importante resaltar que el uso del diagrama de Pareto ha sido una herramienta valiosa para la identificación rápida y precisa de las variables más relevantes en el contexto de estudio. Al centrarse en estos factores críticos, la institución puede tomar decisiones informadas y enfocadas en las áreas donde se requieren mayores esfuerzos y recursos.

En resumen, los resultados del modelo de regresión, presentados a través del diagrama de Pareto, han proporcionado una visión clara sobre las variables más significativas en relación con la desmotivación estudiantil en el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro. El énfasis en las variables x_8 y x_9 abre la puerta a la identificación y aplicación de estrategias de mejora específicas, lo que puede tener un impacto positivo en la experiencia académica de los estudiantes y contribuir a un entorno educativo más enriquecedor y motivador.

Discusión

La discusión de los resultados obtenidos en esta investigación, tal como se presentaron, nos permite profundizar en la relevancia de estos hallazgos en el contexto de la literatura académica que se mencionó en las citas narrativas anteriores. Específicamente, se puede observar cómo estos resultados se alinean o contrastan con investigaciones previas y cómo contribuyen al conocimiento existente en el campo de la motivación intrínseca en estudiantes.

En primer lugar, es esencial destacar que los resultados de esta investigación indicaron que el coeficiente de correlación entre las variables analizadas era bajo, aunque aún significativo. Esta observación está en línea con una serie de estudios previos que han explorado la relación entre diversas variables y la motivación intrínseca. Por ejemplo, Díaz, Jiménez y Rodríguez (2020) subrayaron la importancia de utilizar métodos estadísticos, como la regresión lineal múltiple, para comprender los fenómenos psicológicos. Los resultados actuales respaldan la idea de que la motivación intrínseca es un fenómeno complejo que puede estar influenciado por una variedad de factores, y que la relación entre estas variables puede no ser necesariamente fuerte, pero aún puede ser significativa.

Sin embargo, el coeficiente de determinación arrojó que el modelo desarrollado en esta investigación no era confiable para predecir la motivación intrínseca en los estudiantes. Esto contrasta con algunas expectativas y plantea interrogantes sobre la efectividad de las variables independientes seleccionadas. No obstante, como señalaron Pérez, Ramírez y Sánchez (2019), es crucial destacar que el análisis de varianza indicó que las variables 8 y 9 podrían seguir siendo relevantes en investigaciones futuras. Esto sugiere que, aunque el modelo actual puede no ser suficiente para predecir la motivación intrínseca en su totalidad, ciertas variables pueden desempeñar un papel clave en esta dinámica.

El análisis de confiabilidad, que resultó bastante positivo en esta investigación, nos lleva a reflexionar sobre la elección de las variables y el diseño del instrumento de evaluación. Esta observación es coherente con el enfoque de Cabrera, Soto y Medina (2020), quienes enfatizaron la importancia de herramientas como SPSS o Minitab en investigaciones de este tipo. Los resultados sugieren que, aunque el modelo puede no ser satisfactorio debido a las variables seleccionadas, la metodología de medición utilizada puede considerarse sólida.

En última instancia, esta investigación plantea una serie de preguntas y áreas de interés para futuros estudios. La baja capacidad predictiva del modelo actual sugiere que existen factores aún no identificados o no considerados en esta investigación que influyen en la motivación intrínseca de los estudiantes. Estos pueden ser áreas fructíferas para la investigación futura. Además, la identificación de las variables 8 y 9 como potencialmente relevantes destaca la necesidad de investigar más a fondo estas dimensiones.

Conclusiones

Sin duda, los resultados de este estudio de regresión lineal múltiple destinado a predecir la motivación intrínseca en alumnos del TECNAM Campus Puruándiro han generado valiosas aportaciones y brindado lecciones de relevancia en el ámbito de la investigación educativa.

Inicialmente, cabe destacar que, aunque el coeficiente de correlación entre las variables analizadas puede catalogarse como bajo, no se puede subestimar la presencia de una conexión real y significativa entre dichas variables. Esto plantea la necesidad imperiosa de llevar a cabo futuras investigaciones que se enfoquen en una recolección de datos más exhaustiva y precisa, con el fin de definir de manera más rigurosa las variables independientes y, en consecuencia, demostrar una correlación positiva de mayor robustez con la variable de respuesta.

Un hallazgo importante radica en que, a pesar de que el coeficiente de determinación no apoya de manera concluyente la capacidad de predicción del modelo tal como se ha concebido en el presente estudio, el análisis de varianza arroja luz sobre la posibilidad de que las variables 8 y 9 aún tengan un papel relevante en investigaciones posteriores. Esto sugiere una dirección a seguir en futuros estudios y abre la puerta a la posibilidad de refinar y perfeccionar el modelo para aumentar su poder predictivo.

El análisis de confiabilidad, por su parte, revela un resultado alentador: el modelo no fracasó debido a fallos inherentes en su estructura o a problemas en el proceso de medición empleado. Más bien, el desafío principal residiría en la selección particular de las variables consideradas en este estudio. Esta observación nos insta a considerar con detenimiento y meticulosidad la elección de las variables en investigaciones posteriores, lo que podría contribuir sustancialmente a obtener un modelo más confiable y eficaz.

En última instancia, aunque el modelo desarrollado en esta investigación no ha demostrado ser una herramienta confiable para predecir la motivación intrínseca de los estudiantes del TECNM Campus Puruándiro, no debemos subestimar su importancia. Más bien, esta investigación se erige como un cimiento sólido para futuros estudios, dado que ha demostrado que existe correlación entre las variables en estudio. Esto no solo enriquece nuestra comprensión del fenómeno complejo que es la motivación intrínseca en el contexto académico, sino que también suscita una serie de preguntas que merecen ser investigadas en profundidad.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, R., García, J., & Torres, M. (2020). *Métodos estadísticos para el análisis de datos en investigación social*. Editorial Prensas de la Universidad.
- Alcántara, J. M., Ramírez, L. F., & Sánchez, G. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple aplicado a la economía. *Revista de Economía y Finanzas*, 23(2), 185-200.
- Aldana, M., Pérez, A., & Gutiérrez, E. (2018). Motivación y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Revista de Psicología Educativa*, 12(3), 239-252.
- Barrientos, J. L., González, M. R., & Ramírez, C. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para la predicción del rendimiento académico en estudiantes de ingeniería. *Revista de Investigación Educativa*, 17(1), 35-48.
- Bonilla, L. A., Chávez, R. A., & Pérez, A. (2018). Motivación intrínseca y su influencia en el desempeño académico de estudiantes de educación media superior. *Revista de Psicología Aplicada*, 20(3), 315-328.
- Cabrera, F. R., Soto, G., & Medina, M. (2020). *Análisis estadístico de datos: Técnicas y aplicaciones*. Editorial Reverté.
- Cárdenas, S., Mendoza, J., & Ortega, M. (2019). Regresión lineal múltiple para el estudio de la relación entre variables académicas en estudiantes universitarios. *Revista de Investigación en Educación*, 14(2), 175-188.
- Casanova, A. M., González, M., & Suárez, D. (2018). Motivación y aprendizaje en el contexto escolar. *Revista de Psicología y Educación*, 22(1), 67-80.
- Cervantes, R., Martínez, P., & Ramírez, G. (2020). *Estadística descriptiva y análisis de datos con R*. Editorial Tecnológica.
- Chávez, H. R., Flores, M. A., & Mendoza, E. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para la predicción del rendimiento laboral en profesionales de la salud. *Revista de Salud Pública*, 14(3), 310-323.
- De la Cruz, J. L., Rodríguez, G., & Vargas, C. (2018). Motivación extrínseca e intrínseca en estudiantes de secundaria. *Revista de Educación*, 15(2), 147-160.
- Díaz, L. M., Jiménez, A., & Rodríguez, F. (2020). *Métodos estadísticos para la investigación en psicología*. Editorial El Manual Moderno.
- Esquivel, A. S., Méndez, P., & Vargas, R. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple para la predicción del desempeño laboral en trabajadores de la industria. *Revista de Psicología Industrial*, 13(1), 88-102.
- Fuentes, G. L., Rangel, C., & Sánchez, E. (2018). Motivación y desempeño académico en estudiantes universitarios de ingeniería. *Revista de Investigación en Educación Superior*, 11(2), 137-152.

- Freixa, M., Llanes, J., & Venceslao, M. (2018). El abandono en el recorrido formativo del estudiante de ADE de la Universidad de Barcelona. *Revista de Investigación Educativa*, 36(1), 185-202. <https://doi.org/10.6018/rie.36.1.278971>
- Gallegos, A. G., Medina, J. M., & Navarro, R. (2020). Análisis estadístico y regresión lineal múltiple con SPSS. Editorial Universidad de México.
- García, F. L., Hernández, M. A., & Ortiz, A. (2019). Influencia de la motivación en el rendimiento escolar de estudiantes de secundaria. *Revista de Psicología y Educación*, 23(2), 219-232.
- Gómez, L. A., Ríos, J. R., & Soto, L. (2018). Modelos de regresión lineal y múltiple en investigación educativa. *Revista de Investigación en Educación*, 16(3), 275-288.
- González, E. L., Hernández, D., & Méndez, P. (2020). Estadística aplicada a la educación. Editorial Trillas.
- Hernández, A. R., Mendoza, J., & Ramírez, M. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para la predicción del rendimiento laboral en trabajadores del sector servicios. *Revista de Administración y Organización*, 15(1), 102-115.
- Jiménez, G. M., Ortiz, A. L., & Pérez, J. (2018). Motivación intrínseca y extrínseca en estudiantes de educación primaria. *Revista de Educación y Desarrollo*, 21(1), 76-89.
- León, C. R., Méndez, R., & Torres, A. (2020). Métodos estadísticos para la toma de decisiones en psicología. Editorial El Búho.
- López, D. A., Martínez, C. L., & Sánchez, E. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple aplicado a la economía. *Revista de Economía y Finanzas*, 23(2), 185-200.
- Mendoza, H. G., Pérez, L., & Ramírez, F. (2018). Motivación y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Revista de Psicología Educativa*, 12(3), 239-252.
- Montes, I. L., Núñez, O. R., & Ochoa, P. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para la predicción del rendimiento académico en estudiantes de ingeniería. *Revista de Investigación Educativa*, 17(1), 35-48.
- Morales, J. R., Ortiz, P., & Pérez, A. (2018). Motivación intrínseca y su influencia en el desempeño académico de estudiantes de educación media superior. *Revista de Psicología Aplicada*, 20(3), 315-328.
- Naranjo, M.L. (2010). Motivación: Perspectivas teóricas y algunas consideraciones de su importancia en el ámbito educativo. *Revista Educación*, 33(2), 153-170. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44012058010>
- Navarro, F. R., Ortiz, M. A., & Ríos, C. (2020). Análisis estadístico de datos: Técnicas y aplicaciones. Editorial Tecnológica.
- Pérez, G. M., Ramírez, A., & Sánchez, R. (2019). Regresión lineal múltiple para el estudio de la relación entre variables académicas en estudiantes universitarios. *Revista de Investigación en Educación*, 14(2), 175-188.
- Ramírez, M. R., & Olmos, H.I. (2020). Funciones cognitivas y motivación en el aprendizaje de las matemáticas. *Naturaleza y Tecnología*, (2), 51-63. <http://www.naturalezaytecnologia.com/index.php/nyt/article/view/383/289>
- Rodríguez, L. M., Suárez, J. A., & Vargas, D. (2020). Análisis estadístico y regresión lineal múltiple con SPSS. Editorial Universidad de México.
- Sánchez, F. R., Torres, M., & Vargas, R. (2019). Influencia de la motivación en el rendimiento escolar de estudiantes de secundaria. *Revista de Psicología y Educación*, 23(2), 219-232.
- Soto, E. L., Vargas, J. M., & Zamora, R. (2018). Modelos de regresión lineal y múltiple en investigación educativa. *Revista de Investigación en Educación*, 16(3), 275-288.
- Suárez, H. E., Vargas, J. R., & Zúñiga, L. (2020). Estadística aplicada a la educación. Editorial Trillas.
- Vargas, F. A., Zúñiga, G., & Pérez, E. (2019). Análisis estadístico de datos: Técnicas y aplicaciones. Editorial Tecnológica.

PROPIEDADES ELECTRÓNICAS, MECÁNICAS Y TERMODINÁMICAS DE TITANITA (CaTiSiO₅)

Balter Trujillo Navarrete¹, Mirza Mariela Ruiz Ramirez²,
Rosa María Félix Navarro³, Francisco Paraguay Delgado⁴, Jassiel Rolando Rodríguez Barrera⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 24/05/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen.- Los cálculos computacionales son una herramienta que nos permite profundizar en las propiedades de los nanomateriales. En el presente trabajo de investigación, se diseñó computacionalmente y se estudiaron las propiedades de la titanita utilizando la teoría funcional de la densidad. Mediante los cálculos de la teoría funcional de la densidad se buscaron las condiciones óptimas usando la aproximación de gradiente generalizada en la forma de Perdew-Burke-Ernzerhof revisado. Se estudia la estructura de bandas electrónicas en función de la energía. También se estudian módulos elásticos, ductilidad o fragilidad, anisotropía elástica, estabilidad mecánica y rigidez de materiales sólidos. La entalpía, la entropía y la energía libre se informaron a partir de las propiedades vibratorias de los materiales. Se investigaron la capacidad calorífica dependiente de la temperatura y la temperatura de Debye. Las propiedades electrónicas mostraron que dado el valor de band gap (2.927 eV), la titanita puede usarse como un semiconductor. Las propiedades mecánicas reflejaron que el material es anisotrópico. Este estudio proporciona propiedades de la titanita obtenidas teóricamente, donde se observa la posible aplicación de la titanita como un soporte o catalizador.

Palabras Clave: Titanita; CaTiSiO₅; esfeno; DFT; diseño computacional.

ELECTRONIC, MECHANICAL AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF TITANITE (CaTiSiO₅)

Abstract.- Computational calculations are a tool that allows us to delve into the properties of nanomaterials. In the present research work, the titanite was designed computationally and their properties were studied using the density functional theory. Through the calculations of the density functional theory, the optimal conditions were sought using the generalized gradient approximation in the revised Perdew-Burke-Ernzerhof form. The electronic band structure as a function of energy is studied. Elastic moduli, ductility or brittleness, elastic anisotropy, mechanical stability, and stiffness of solid materials are also studied. Enthalpy, entropy, and free energy were reported from the vibrational properties of the materials. The temperature-dependent heat capacity and Debye temperature were investigated. The electronic properties showed that given the band gap value (2.927 eV), titanite can be used as a semiconductor. The mechanical properties reflected that the material is anisotropic. This study provides properties of titanite obtained theoretically, where the possible application of titanite as a support or catalyst is observed.

Keywords: Titanite; CaTiSiO₅; sphene; DFT; computer design.

Introducción

Recientemente, un material que ha atraído el interés de la comunidad científica son los esfenos (CaTiSiO₅ o CaTiO(SiO₄)) también conocidos como titanitas (Chen y Liu 1994). En su estructura cristalina esquemática (Figura 1) se puede observar que contiene cadenas retorcidas de octaedros TiO₆ que comparten esquinas paralelas a un eje. Estas cadenas están conectadas por tetraedros de SiO₄ aislados que comparten esquinas con octaedros de TiO₆. La titanita

¹ Doctor en Ciencias de materiales. Profesor investigador. Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Tijuana. Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, 22430 Tijuana, B. C. Correo: balter.trujillo@tectijuana.edu.mx ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0196-1001>. (Autor correspondiente).

² Maestra en Ciencias de la ingeniería. Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Tijuana. Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, 22430 Tijuana, B. C. Correo: mirza.ruiz17@tectijuana.edu.mx. CVU 908766, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1783-8419>.

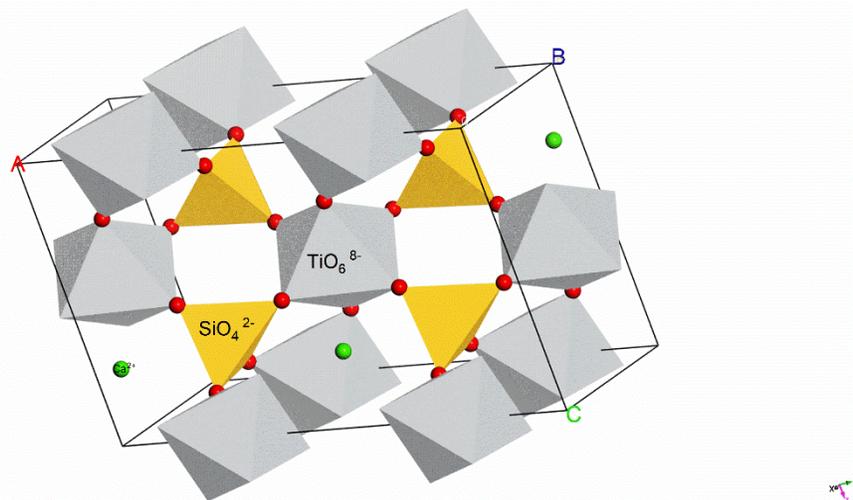
³ Doctora en Ciencias químicas. Profesora investigadora. Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Tijuana. Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, 22430 Tijuana, B. C. Correo: rmfelix2003@yahoo.com.mx Tel. (664) 221 5115 ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3178-1164>.

⁴ Doctor en Ciencias de Materiales. Profesor investigador. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, 31136 Chihuahua, Chih. Correo: francisco.paraguay@cimav.edu.mx, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3764-1595>.

⁵ Doctor en Ciencias e ingeniería de materiales. Profesor investigador. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Carr. Tijuana-Ensenada 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, B.C. Correo: jassiel@cicese.edu.mx ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9881-2917>.

sufre una transición de fase del monoclinico de baja temperatura $P2_1/a$ a una fase monoclinica $A2/a$ (también llamado $C2/c$) de alta temperatura a aproximadamente 500 K, acompañada por los desplazamientos de átomos de Ti desde su posición descentrada al centro del octaedro de TiO_6 (Peng et al. 2019).

Figura 1. Estructura cristalina de esfenos.



Nota. Estructura de esfeno diseñado en Materials Studio.

A los esfenos se les conoce por mostrar una excelente estabilidad química, mecánica, térmica (Yin et al. 2018). Presentan aplicaciones variadas en la literatura como eliminación de desechos nucleares, materiales luminiscentes y pigmentos (Maletaškić et al. 2017). Cruz-Ortiz et al. 2015 evaluaron la actividad antibacteriana de los materiales TiO_2 - $CaSiTiO_5$ contra *E. coli* y *S. aureus* en presencia y ausencia de luz UV. Los materiales se sintetizaron mediante reacción en estado sólido empleando TiO_2 de un catalizador gastado y wollastonita como materias primas. Por otra parte, Fareed et al. 2018 reportaron el uso de nanopartículas de titanita de cadmio modificadas con zinc ($Zn_xCd_{1-x}TiO_3$ ($x = 0.25, 0.5, 0.75$)) para la detección de metanol a temperatura ambiente. A su vez, Malcherek et al. 2004 reportaron el isomorfismo de transición de fase estructural de la titanita de calcio con sus variantes con litio: $LiTiO(SiO_4)$, $LiTaO(SiO_4)$ y $LiTaO(GeO_4)$, los cuales tiene un alto potencial como electrodos en pilas de combustible de óxido sólido.

Una herramienta eficiente que ha sido muy utilizada para diseñar y para describir las propiedades de los nanomateriales, verificar los resultados experimentales o dar una explicación más detallada son los cálculos computacionales por la teoría funcional de la densidad (DFT, por sus siglas en inglés) (Niu et al. 2020; Santos y Veiros 2020; Serir et al. 2020). DFT es principalmente una teoría de la estructura electrónica del estado fundamental, expresada en términos de la distribución de densidad electrónica $n(r)$ (Kohn, Becke, and Parr 1996). Sus aplicaciones van desde la química y la bioquímica sobre la física de la materia condensada hasta la ciencia de los materiales (Christensen, Bligaard, y Jacobsen 2020). En este último ayudando a obtener la estructura, energías y propiedades de materiales, moléculas y nanosistemas (Er y Ghatak 2020).

Entre los estudios que se han realizado utilizando la DFT se puede enlistar diversos ejemplos como Shapovalov et al. 2021, quienes demostraron la capacidad reversible de las reacciones redox de los iones de oxígeno de $Na_{0.9}Fe_{0.45}Ti_{1.55}O_4$. Santos y Veiros 2020 predijeron el impacto estereoquímico del tiolato en la proporción de epímeros obtenida a través de los cálculos de DFT. Mientras que Muz, Göktaş, y Kurban 2020 investigaron las propiedades estructurales y optoelectrónicas de los compuestos de pentaceno dopados con metales de transición (Cu, Fe, Mn, Ni, V y Zn) como material para dispositivos fotovoltaicos orgánicos. Sin embargo, faltan estudios complementarios de las propiedades físicas, químicas, mecánicas de titanitas, por lo que el uso de una herramienta como DFT nos permitiría profundizar en ellas. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación, se realizó el diseño vía el modelado y simulación basado en DFT, investigando sus propiedades electrónicas, mecánicas y termodinámicas.

Materiales y métodos

El diseño computacional de titanita fue mediante el software Materials Studio de la compañía BIOVIA®. Tomando los datos de la tarjeta 01-076-6577 de PDF+4 de la ICDD, y usando los parámetros de red: $a = 5.445$, $b = 5.445$, $c = 7.4$, $\alpha = \beta = 107.348$, $\gamma = 106.049$. Se utilizó la aproximación de gradiente generalizada (GGA) en la forma de Perdew-Burke-Ernzerhof revisado (rPBE, por sus siglas en inglés) conocido como funcional GGA-rPBE. Como parámetros de tolerancia de convergencia se usó una energía total de 1×10^{-5} eV/átomo, la fuerza máxima de 0.03 eV/Å, la tensión máxima 0.05 GPa, las tolerancias máximas de desplazamiento de 0.001 Å. Para los parámetros electrónicos se utilizó el tratamiento relativista Koelling-Harmon, el pseudopotencial ultrasuave OTFG (“On the fly generation”), una energía de corte (energy cut-off) de 571.4 eV (calidad fina), con puntos $k \times 3 \times 2$ para asegurar la configuración optimizada de la estructura cristalina así como la investigación de propiedades. Para calcular las propiedades eléctricas el cambio fue en los parámetros electrónicos donde se utilizó el pseudopotencial Conservador de normas y una energía de corte de 800.00 eV (calidad fina). Las propiedades electrónicas, mecánicas y termodinámicas fueron analizadas usando el módulo CASTEP (“Cambridge Serial Total Energy Package”) (Clark et al. 2005).

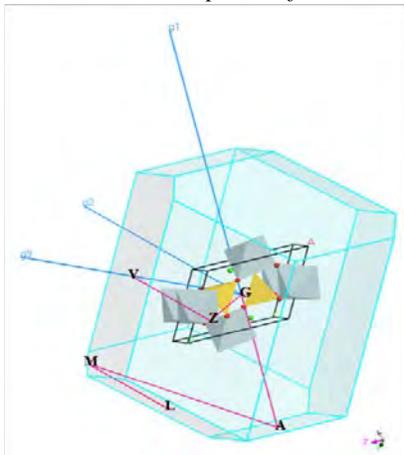
Resultados y discusión

Propiedades electrónicas:

Las propiedades electrónicas juegan un papel importante en la descripción del rendimiento de los materiales. Las propiedades electrónicas están determinadas principalmente por la brecha de energía entre la conducción y la banda de valencia. La brecha de energía indicará la tendencia de un electrón a moverse desde el orbital molecular ocupado más alto (HOMO) al orbital molecular ocupado más bajo (LUMO) y, por lo tanto, la diferencia energética del material (Lawal, Bello, and Kona 2022).

En la celda primitiva de CaTiSiO_5 , hay 16 átomos, incluidos 2 átomos de Ca, 2 átomos de Ti, 2 átomos de Si y 10 átomos de O. La zona de Brillouin es una celda primitiva simétrica en el espacio vectorial de ondas, que tiene todas las simetrías del grupo de puntos de la red recíproca (J. Chen, Xu, and Chen 2020). Los puntos espaciales dentro de la zona de Brillouin para el esfero se denotan L, M, A, G, Z, V (letras griegas: Λ , M, A, Γ , Z, ζ) como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Zona de Brillouin para la fase C2/c de titanita.



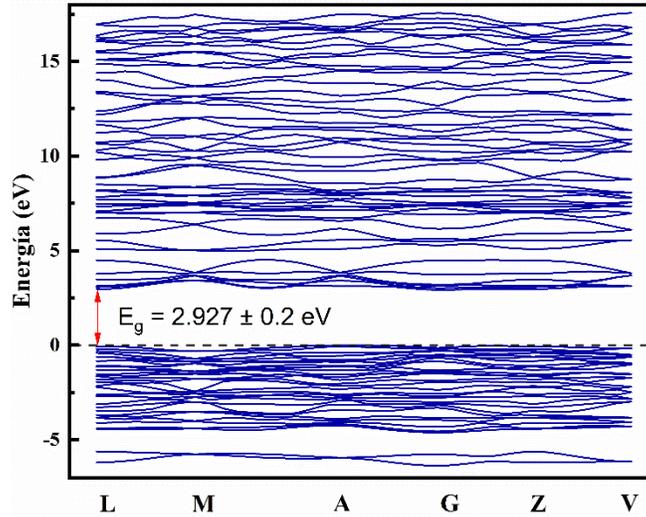
De modo que se puede calcular una estructura de bandas (Figura 3) a partir de una zona de Brillouin. La mayoría de los estados cuánticos de los electrones no juegan ningún papel. Solo los electrones en estados cercanos a la superficie de Fermi (energía cero, línea punteada), aquellos con los momentos más altos, contribuyen a la conducción (W. Chen et al. 2012; Littlewood and Kos 2005) a partir de ello se puede obtener el band gap (E_g) de 2.927 ± 0.2 eV. A su vez, Das, Mondal, y Mandal 2021 han reportado una banda prohibida de 3.2 eV para la titanita $P2_1/a$, de manera que necesitaría mayor energía que la calculada en este trabajo. Además, estos resultados sugieren que la titanita puede ser usada como semiconductor.

Propiedades mecánicas:

Los módulos elásticos, la ductilidad o fragilidad, la anisotropía elástica, la estabilidad mecánica y la rigidez de los materiales sólidos son propiedades muy importantes para la ingeniería de materiales. Estas propiedades se pueden

estudiar utilizando una constante elástica que se puede calcular a partir del método de deformación-esfuerzo lineal finito utilizando la formulación CASTEP (Clark et al. 2005).

Figura 3. Estructura de bandas para la fase C2/c de titanita.



Las propiedades elásticas de un material revelan las características de respuesta a cargas externas aplicadas de diferentes maneras. La relación tensión/deformación (es decir, la ley de Hooke) de materiales generalmente anisotrópicos con comportamiento elástico lineal se puede escribir de la siguiente manera:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (1)$$

donde σ_{ij} son los componentes de tensión, ε_{ij} los componentes de deformación y C_{ijkl} los módulos elásticos. La ecuación (1) utiliza la notación de Voigt en la que 1, 2,... y 6 representan xx, yy, zz, yz, zx, xy, respectivamente. Teniendo en cuenta las siguientes propiedades de simetría:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{kl} = \varepsilon_{lk} \quad (3)$$

$$C_{ijkl} = C_{jikl}, \quad C_{ijkl} = C_{ijlk}, \quad C_{ijkl} = C_{klij} \quad (4)$$

la ley de Hooke generalizada se puede escribir en forma matricial como (Lamuta 2019; Liu 2020):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{56} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ 2\varepsilon_{23} \\ 2\varepsilon_{13} \\ 2\varepsilon_{12} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Debido a que los tensores σ y ε tienen cada uno solo seis componentes independientes, el tensor de C_{ij} de segundo orden solo puede tener $6 \times 6 = 36$ componentes independientes. Los componentes restantes $(36-6)/2$ deben ser 15 pares iguales, haciendo un máximo de $6 + 15 = 21$ componentes independientes para el tensor de módulo elástico. Un cristal con simetría monoclinica tiene 13 componentes independientes en sus constantes elásticas, viz. $C_{11}, C_{22}, C_{33}, C_{44}, C_{55}, C_{66}, C_{12}, C_{13}, C_{15}, C_{25}, C_{35}$ y C_{46} (Angel et al. 2009). En la Tabla 1 se observan los 13 componentes independientes calculados para el esfero C2/c a 0.05 GPa (calidad fina), lo cual es consistente con la simetría monoclinica del cristal.

La Tabla 2 muestra las propiedades mecánicas estudiadas de la titanita. La relación de Poisson (ν) también es un índice para distinguir entre la fragilidad o la ductilidad de los materiales, cuyo límite crítico es $\nu = 0.26$. El material es frágil cuando $\nu < 0.26$ y dúctil cuando $\nu > 0.26$. Los datos de ν de la titanita fueron 0.239, lo que demuestra que es un material

frágil (Mahmood et al. 2019). La temperatura de Debye (Θ_D) es una temperatura característica para evaluar las propiedades del material. Se puede calcular a partir de constantes elásticas tomando la velocidad promedio del sonido (V_m), de la siguiente manera (Jiang et al. 2019):

Tabla 1

Matriz de constantes de rigidez elástica Cij.

$$\begin{pmatrix} 151.4 & 66.9 & 53.8 & 0 & 26.8 & 0 \\ 66.9 & 275.9 & 80.6 & 0 & -3.2 & 0 \\ 53.8 & 80.6 & 207.6 & 0 & -13.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 71.8 & 0 & -12.7 \\ 26.8 & -3.2 & -13.6 & 0 & 93.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -12.7 & 0 & 58.1 \end{pmatrix}$$

Nota. Elaboración propia con los datos obtenidos del análisis de las Constantes Elásticas usando el módulo CASTEP (Clark et al. 2005).

$$\theta_D = \left(\frac{h}{k_B}\right) \left[\frac{3n}{4\pi} \left(\frac{N_A \rho}{M}\right)\right]^{1/3} V_m \quad (6)$$

Los datos de anisotropía son un indicador significativo para exhibir la eficiencia mecánica del material en el uso práctico. El índice anisotrópico universal (A^U) sirve para caracterizar la anisotropía elástica de un sistema cristalino. Si el valor del A^U es igual a cero, el material es isotrópico. La desviación de cero indica esa medida de la anisotropía (Özer 2019). De acuerdo con el resultado a través del cálculo de constantes elásticas, la titanita C2/c monoclinica tiene un A^U de 0.61, lo cual sugiere es un material anisotrópico. Es decir, que sus propiedades varían dependiendo de la dirección (Saxena, Krief, y Adam 2018).

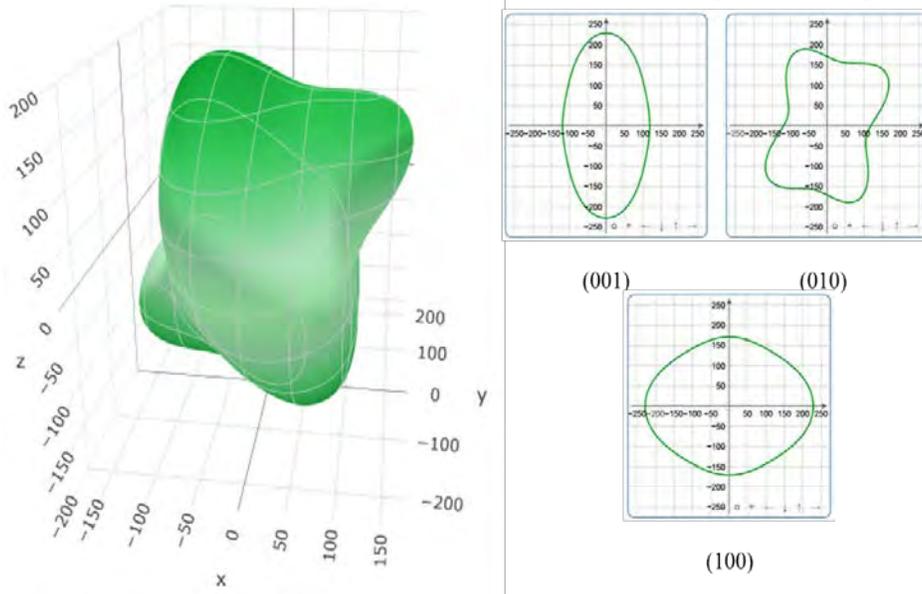
El módulo de Young (E) se define como la relación entre la tensión (σ) y la deformación (ϵ). Se puede utilizar como una medida de su rigidez. Un material con un valor grande de E se le considera un sólido rígido (Huang et al. 2012). E se calculó vía las aproximaciones de Voigt, Reuss y Hill, obteniéndose los valores promedios de 181.98, 165.17 y 173.58 GPa respectivamente. Además, se complementó con las gráficas 3D y 2D del módulo de Young (Figura 4), usando el software ELATE (Gaillac, Pullumbi, y Coudert 2016). La construcción de la superficie esférica (3D) y circular (2D) corresponde a un módulo elástico isotrópico. De lo contrario, el módulo elástico es anisotrópico. El grado de anisotropía elástica de un sólido se puede expresar mediante el nivel de desviación de la construcción 3D y 2D de la esfera. La mayor desviación corresponde a la mayor anisotropía elástica (Qu et al. 2019). Por lo tanto, se puede visualizar el comportamiento anisotrópico elástico del material, corroborando con el resultado del A^U .

Tabla 2. El módulo de Young calculado (E), el módulo de volumen (K), el módulo de corte (G), la relación de Poisson (ν), la compresibilidad (K), el índice anisotrópico universal (A^U), la temperatura de Debye (θ_D) y la velocidad del sonido (V_m) de titanita.

Parámetros	Valor
Módulo de Young, E (Gpa)	181.98285 ^V , 165.16899 ^R , 173.57666 ^H
Módulo de volumen, K (GPa)	115.28627 ^V , 105.58101 ^R , 110.43364 ^H
Módulo de corte, G (Gpa)	73.5634 ^V , 66.63964 ^R , 70.10152 ^H
Relación de Poisson, ν	0.23691 ^V , 0.23927 ^R , 0.23804 ^H
Compresibilidad (1/GPa)	0.00947
Índice anisotrópico universal, A^U	0.61141
Temperatura Debye (K)	650.9476
Velocidad media del sonido (m/s)	5045.4759

Nota. Elaboración propia con los datos obtenidos del análisis de las Constantes Elásticas usando el módulo CASTEP (Clark et al. 2005). V, R y H simbolizan las aproximaciones utilizadas; V de Voigt, R de Reuss y H de Hill.

Figura 4. Representaciones gráficas de la superficie del módulo de Young en 3D y 2D para titanita.

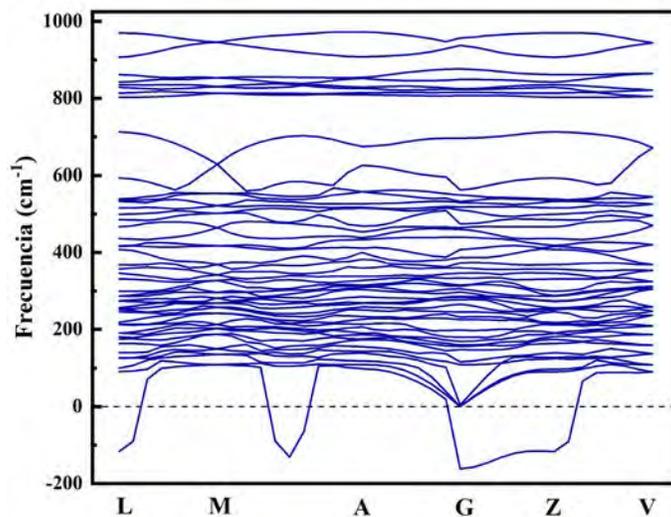


Nota. Gráficas 3D y 2D del módulo de Young obtenidas del software ELATE (Gaillac, Pullumbi, y Coudert 2016) realizadas a partir de la Matriz de constantes de rigidez elástica C_{ij} .

Propiedades termodinámicas:

Las propiedades termodinámicas se definen como características del sistema que pueden especificar el estado del sistema. La dinámica de red, así como las propiedades dieléctricas, las curvas de dispersión de fonones y la densidad de estados de fonones son muy significativas (Hasan et al. 2022). En la celda primitiva de CaTiSiO_5 , hay 16 átomos, que producen 48 módulos de vibración, incluidas 3 ramas acústicas y 45 ramas ópticas. Figura 5 muestra las curvas de dispersión de fonones para la fase $C2/c$ a lo largo de los puntos de alta simetría $L-M-A-G-Z-V$. Los modos ópticos se desplazan hacia regiones de mayor frecuencia, mientras que los modos acústicos se suavizan algunos a valores negativos. De las 45 ramas ópticas, 21 son modos activos Raman (9 A_g + 12 B_g) y 24 son modos activos infrarrojos (11 A_u + 13 B_u). Se encontraron frecuencias de fonones imaginarios (valores negativos), lo que indica que no puede ser estable a temperatura ambiente y presión normal (Li et al. 2016; Malcherek and Fischer 2018).

Figura 5. Dispersión de fonón para titanita.



A temperatura finita, las propiedades termodinámicas, como la entalpía (H), la entropía (S) y la energía libre (F), se pueden calcular a partir de las propiedades vibratorias de los materiales,

$$H(T) = E_{tot} + \frac{1}{2} \int g(\omega) \hbar \omega d\omega + \int \frac{\hbar \omega}{e^{k_B T} - 1} g(\omega) d\omega \quad (7)$$

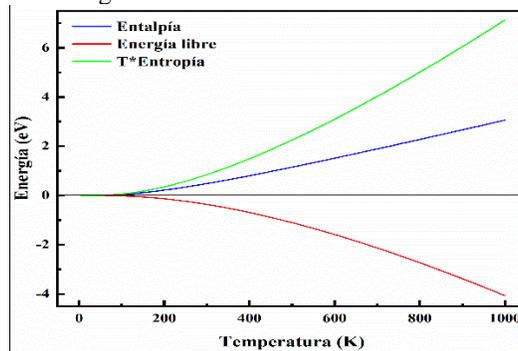
$$S(T) = k_B \left[\int \frac{\frac{\hbar \omega}{k_B T}}{e^{\frac{\hbar \omega}{k_B T}} - 1} g(\omega) d\omega - \int g(\omega) \ln \left(1 - e^{-\frac{\hbar \omega}{k_B T}} \right) d\omega \right] \quad (8)$$

$$F(T) = E_{tot} + \frac{1}{2} \int g(\omega) \hbar \omega d\omega + k_B T \int g(\omega) \ln \left(1 - e^{-\frac{\hbar \omega}{k_B T}} \right) d\omega \quad (9)$$

donde $g(\omega)$ es la densidad de estados de fonones (calculada junto con la dispersión de fonón) y k_B es la constante de Boltzmann (Hasan et al. 2022).

Figura 6 muestra la dependencia de la temperatura de la entalpía, la energía libre y la entropía (multiplicada por la temperatura) en un rango de 0 a 1000 K. La entalpía y la entropía aumentan con la temperatura. Dado que los iones se polarizan entre sí cuando se cierran, la línea de relación entre entropía y temperatura presenta cierta flexión. Los valores evaluados obedecieron a la tercera ley de la termodinámica ya que los valores se acercan a cero a medida que la temperatura se acerca al cero absoluto. La energía de punto cero se define como la energía más baja posible que puede tener un sistema mecánico cuántico (Jarvis 2022). La energía de punto cero de la titanita es 1.2158 eV.

Figura 6. Termodinámica de titanita.



Para predecir el comportamiento térmico del material energético, la capacidad calorífica específica es una propiedad fundamental para acceder con respecto a la temperatura (Adivaiah and Vaitheeswaran 2021). Figura 7 muestra la dependencia de la temperatura de la capacidad calorífica de las contribuciones de fonones adquirida del cálculo de la dispersión de fonón. A bajas temperaturas se debe a la limitación del modelo de Debye a bajas temperaturas. Mientras que a altas temperaturas (hasta 1000 K), la capacidad calorífica se acerca al llamado límite de Dulong-Petit, que es común en todos los sólidos a altas temperaturas.

Figura 7

Capacidad calorífica de titanita.

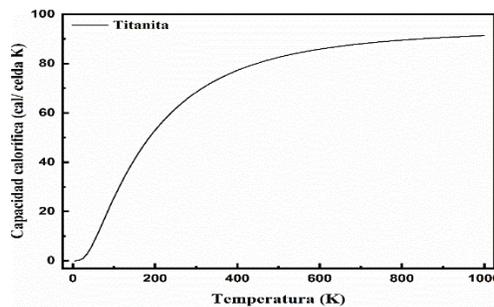
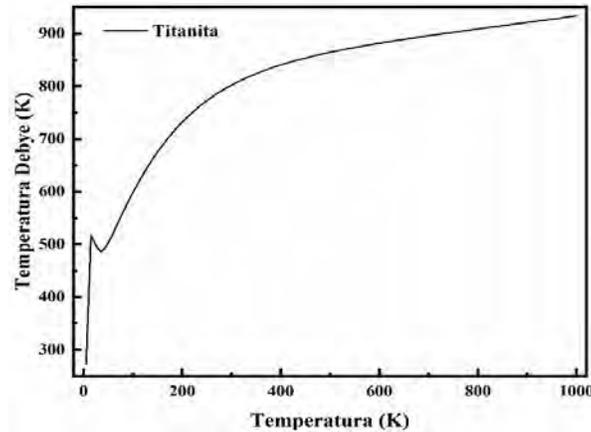


Figura 8 muestra los resultados de la temperatura de Debye de CaTiSiO_5 . Se puede ver que la temperatura de Debye aumenta a bajas temperaturas, disminuye brevemente y aumenta monótonamente para acercarse a un máximo (933.53 K a 1000 K). El desnivel se ubica en $T=35.15$ K, con la correspondiente temperatura de Debye en 485.13 K, cuyo origen aún se está discutiendo.

Figura 8. Temperatura Debye para titanita.



Conclusiones

Se estudiaron las propiedades electrónicas, mecánicas y termodinámicas de titanita monoclinica utilizando los cálculos computacionales por la teoría funcional de la densidad. Entre los resultados relevantes, se enlista la determinación de la banda prohibida, implicando un carácter semiconductor dependiente de la dirección. A altas temperaturas la capacidad calorífica es común a la de los sólidos. Los resultados reportados muestran la potencial aplicación de la titanita en el área ambiental, donde el material se puede usar como un soporte o catalizador.

Referencias bibliográficas

- Adivaiah, B., and G. Vaitheeswaran. 2021. "Computational Study of Lattice Dynamics and Thermodynamic Properties of Energetic Solid Cyanuric Triazide." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 148(September 2020).
- Angel, Ross J., Jennifer M. Jackson, Hans J. Reichmann, and Sergio Speziale. 2009. "Elasticity Measurements on Minerals: A Review." *European Journal of Mineralogy* 21(3): 525–50.
- Chen, Jianhua, Zhenghe Xu, and Ye Chen. 2020. "Introduction of Density Functional Theory." In *Electronic Structure and Surfaces of Sulfide Minerals*, Elsevier, 1–12.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128179741000016> (January 20, 2022).
- Chen, S. K., and H. S. Liu. 1994. "FTIR, DTA and XRD Study of Sphene (CaTiSiO_5) Crystallization in a Ceramic Frit and a Non-Borate Base Glass." *Journal of Materials Science* 29(11): 2921–30.
- Chen, Weiguang et al. 2012. "Electronic Properties of Anatase TiO_2 Doped by Lanthanides: A DFT+U Study." *Physica B: Condensed Matter* 407(6): 1038–43.
- Christensen, Rune, Thomas Bligaard, and Karsten Wedel Jacobsen. 2020. "Bayesian Error Estimation in Density Functional Theory." In *Uncertainty Quantification in Multiscale Materials Modeling*, Elsevier, 77–91.
- Clark, Stewart J. et al. 2005. "First Principles Methods Using CASTEP." *Zeitschrift für Kristallographie* 220(5–6): 567–70. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1524/zkri.220.5.567.65075/html> (August 10, 2022).
- Cruz-Ortiz, B. R., D. A. Cortés-Hernández, M. L. Díaz-Jiménez, and J. E. Mauricio-Benavides. 2015. "Antibacterial Activity of TiO_2 - CaSiTiO_5 Materials Synthesised from a Spent Catalyst." *Ceramics International* 41(2): 2484–91.
- Das, Pratik Kr., Sudip Kumar Mondal, and Nibir Mandal. 2021. "First Principles Prediction of Exceptional Mechanical and Electronic Behaviour of Titanite (CaTiSiO_5)." *Materialia* 15(November 2020): 100964.
- Er, Dequan, and Kamalika Ghatak. 2020. "Atomistic Modeling by Density Functional Theory of Two-Dimensional Materials." In *Synthesis, Modeling, and Characterization of 2D Materials, and Their Heterostructures*, Elsevier, 113–23.
- Fareed, S., Arifa Jamil, M.A. Rafiq, and F. Sher. 2018. "Zinc Modified Cadmium Titanite Nanoparticles: Electrical and Room Temperature Methanol Sensing Properties." *Ceramics International* 44(5): 4751–57.
- Gaillac, Romain, Pluton Pullumbi, and François-Xavier Coudert. 2016. "ELATE: An Open-Source Online Application for Analysis and Visualization of Elastic Tensors." *Journal of Physics: Condensed Matter* 28(27):

275201. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/28/27/275201>.
- Hasan, Mehedi, Sharifa Nasrin, M. Nazrul Islam, and A. K.M.Akther Hossain. 2022. "First-Principles Insights into the Electronic, Optical, Mechanical, and Thermodynamic Properties of Lead-Free Cubic ABO₃[A = Ba, Ca, Sr; B = Ce, Ti, Zr] Perovskites." *AIP Advances* 12(8). <https://doi.org/10.1063/5.0104191>.
- Huang, Z. W., Y. H. Zhao, H. Hou, and P. D. Han. 2012. "Electronic Structural, Elastic Properties and Thermodynamics of Mg₁₇Al₁₂, Mg₂Si and Al₂Y Phases from First-Principles Calculations." *Physica B: Condensed Matter* 407(7): 1075–81.
- Jarvis, Stephen H. 2022. *The Temporal Mechanics XEMDIR Field Resolving Zero-Point Energy , Negative The Temporal Mechanics XEMDIR Field Resolving Zero-Point Energy , Negative Energy , Anti-EM , Anti-Gravity , Symmetry Breaking , and Baryon Asymmetry*.
- Jiang, Diyou et al. 2019. "Structural Stability, Electronic Structures, Mechanical Properties and Debye Temperature of Transition Metal Impurities in Tungsten: A First-Principles Study." *Metals* 9(9).
- Kohn, W., A. D. Becke, and R. G. Parr. 1996. "Density Functional Theory of Electronic Structure." *Journal of Physical Chemistry* 100(31): 12974–80.
- Lamuta, Caterina. 2019. "Elastic Constants Determination of Anisotropic Materials by Depth-Sensing Indentation." *SN Applied Sciences* 1(10): 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1301-y>.
- Lawal, Abdullahi, Musa Bello, and Ahmed Musa Kona. 2022. "Quasi-Particle Band Structure and Optical Properties of Perylene Crystal for Solar Cell Application : A G 0 W 0 Calculations." 8(May): 187–95.
- Li, Jinping, Songhe Meng, Liyuan Qin, and Hantao Lu. 2016. "First-Principles Study of Electronic Structure, Optical and Phonon Properties of α -ZrW₂O₈." *Solid State Communications* 247: 58–63.
- Littlewood, Peter, and Šimon Kos. 2005. "Focus on the Fermi Surface." *Nature* 438(7067): 435–435.
- Liu, Zhong-Li. 2020. "High-Efficiency Calculation of Elastic Constants Enhanced by the Optimized Strain-Matrix Sets." (January). <http://arxiv.org/abs/2002.00005>.
- Mahmood, Q. et al. 2019. "The Study of Mechanical and Thermoelectric Behavior of MgXO₃ (X = Si, Ge, Sn) for Energy Applications by DFT." *Chemical Physics* 524: 106–12.
- Malcherek, Thomas et al. 2004. "Isomorphy of Structural Phase Transitions in LiTaOSiO₄, LiTaOGeO₄ and Titanite, CaTiOSiO₄." *Journal of Solid State Chemistry* 177(10): 3254–62.
- Malcherek, Thomas, and Michael Fischer. 2018. "Phase Transitions of Titanite CaTiSiO₅ from Density Functional Perturbation Theory." *Physical Review Materials* 2(2): 1–13.
- Maletaškić, Jelena et al. 2017. "Phase Evolution of Sphene Based Ceramics during Annealing." *Energy Procedia* 131: 407–12.
- Muz, İskender, Fahrettin Gökteş, and Mustafa Kurban. 2020. "3d-Transition Metals (Cu, Fe, Mn, Ni, V and Zn)-Doped Pentacene π -Conjugated Organic Molecule for Photovoltaic Applications: DFT and TD-DFT Calculations." *Theoretical Chemistry Accounts* 139(2).
- Niu, Juntian et al. 2020. "Methane Dry (CO₂) Reforming to Syngas (H₂/CO) in Catalytic Process: From Experimental Study and DFT Calculations." *International Journal of Hydrogen Energy* 45(55): 30267–87.
- Özer, Tahsin. 2019. "Study of First Principles on Anisotropy and Elastic Constants of Y₃Al₂ Compound." *Chinese Journal of Physics* 61: 180–89.
- Peng, Xiaoxiao et al. 2019. "Dielectric Properties of (Al³⁺, Nb⁵⁺) Co-Doped CaTiSiO₅ Ceramics at Elevated Temperature." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 132: 83–88.
- Qu, Deyi, Longke Bao, Zhuangzhuang Kong, and Yonghua Duan. 2019. "Anisotropy of Elastic and Thermal Properties of TMOs₂ (TM = Sc, Y, Ti, Zr and Hf) from First-Principles Explorations." *Materials Research Express* 6(11): 0–11.
- Santos, Pedro Paulo, and Luís F. Veiros. 2020. "Assistance of DFT Calculations on the Design and Rationalization of Active Pharmaceutical Ingredients Synthesis – Michael Addition-Isomerization Steps in Oseltamivir Synthesis." *Tetrahedron* 76(51).
- Saxena, Vimal, Michel Krief, and Ludmila Adam. 2018. Handbook of Borehole Acoustics and Rock Physics for Reservoir Characterization *Anisotropy Evaluation*.
- Serir, N. et al. 2020. "Electronic, Elastic, Thermodynamic and Vibrational Properties of Li₆BeZrF₁₂: Insights from DFT-Based Computer Simulation." *Computational Condensed Matter* 25.
- Shapovalov, Victor et al. 2021. "Laboratory Operando Xas Study of Sodium Iron Titanite Cathode in the Li-Ion Half-Cell." *Nanomaterials* 11(1): 1–13. <https://doi.org/10.3390/nano11010156> (May 30, 2021).
- Yin, Dan et al. 2018. "Self-Propagating High-Temperature Synthesis of Ce-Doped Sphene Mineral Using CuO as the Oxidant." *Progress in Nuclear Energy* 105: 167–74.

