

CONVERGENCIA CIENTÍFICA PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL

EDITORES:

Mayra Karina Gálvez Díaz

Lamberto Vazquez Veloz

Manuel Antonio Rivera Rodríguez.

CONVERGENCIA CIENTÍFICA PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL



EDITORES:

Mayra Karina Gálvez Díaz

Lamberto Vazquez Veloz

Manuel Antonio Rivera Rodríguez.

Autores:

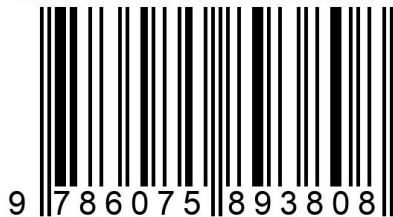
Lamberto Vázquez Soqui, Diego Mercado Ravell, Fátima Oliva Palomo, José Alfredo Gámez Corrales, Aaron de Jesús Rosas Durazo, Martha Angélica García Olivo, Francisco Javier Zendejas González, Axel Oswaldo Galicia Nava, Erick Alan Reyes Mondragón, Enrique García Trinidad, Emmanuel Arcos Hernández, Jesús Martínez Martínez, Eduardo Rodríguez Leyva, Blanca Esthela Zazueta Villavicencio, Silvia Patricia López Soto, Claudia Estela Peñaflor Campa, Francisco Elpidio Gortarez Vidal, Brenda Crystal Suárez Espinosa, María Edith Saucedo García, Mélica Marel Villalobos Cortés, Manuel Peralta Gutiérrez, Gilberto García Cruz, Martha Johany Salazar Rivera, Ashley Miyoko Avendaño González, Ángela Valeria Pérez Gutiérrez, Guadalupe Hernández Escobedo, Ángel Ramírez Huerta, Amalia Camina Salinas Hernández, Arturo Realy Vázquez Vargas, Cristian Vinicio López Del Castillo, Dinora Monroy Meléndez, Penélope Guadalupe Álvarez Vega, Daniel Isidro Mendivil Villa, Gabriela Anahí Martínez Camacho, Anel Torres López, Gerardo Ochoa Salcido, Elizabeth Santillán Tarazón.

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2026



EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

ISBN: 978-607-5893-80-8



Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 2
Presentación en medio electrónico digital
Formato PDF 9 MB
Fecha de aparición 24/04/2026
ISBN 978-607-5893-80-8

Xalapa, Veracruz. México a 24 de abril de 2026

DICTAMEN EDITORIAL

La presente obra fue arbitrada y dictaminada en dos procesos; el primero, fue realizado por el **COMITÉ EDITORIAL RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.** con sede en México; que sometió a los capítulos incluidos en la obra a un proceso de dictaminación a doble ciego para constatar de forma exhaustiva la temática, pertinencia y calidad de los textos en relación a los fines y criterios académicos de la misma, cumpliendo así con la primera etapa del proceso editorial. El segundo proceso de dictaminación estuvo a cargo del **COMITÉ CIENTÍFICO RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.**; donde se seleccionaron expertos en el tema para la evaluación de los capítulos de la obra y se procedió con el sistema de dictaminación a doble ciego. Cabe señalar que previo al envío a los dictaminadores, todo trabajo fue sometido a una prueba de detección de plagio. Una vez concluido el arbitraje de forma ética y responsable y por acuerdo del Comité Editorial y Científico de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. (REDIBAI), se dictamina que la obra **“CONVERGENCIA CIENTÍFICA PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL”** cumple con la relevancia y originalidad temática, la contribución teórica y aportación científica, rigurosidad y calidad metodológica, actualidad de las fuentes que emplea, redacción, ortografía y calidad expositiva.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez

Director Editorial

Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.

(978-607-5893)

Dublín 34, Residencial Monte Magno

C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.

Cel 2282386072

Xalapa, Veracruz. México a 24 de abril de 2026

CERTIFICACIÓN EDITORIAL

RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI) con sello editorial **No. 978-607-5893** otorgado por la Agencia Mexicana de ISBN, hace constar que el libro **“CONVERGENCIA CIENTÍFICA PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL”** registrado con el **ISBN 978-607-5893-80-8** fue publicado por nuestro sello editorial con fecha de aparición del 24 de abril de 2026 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra política editorial.

Fue evaluado por pares académicos externos y aprobado por nuestro Comité Editorial y Científico.

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación se encuentran bajo el poder Editorial de **RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI)**, los cuales están a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requieran.

La normativa editorial y repositorio se encuentran disponibles en la página **<http://www.redibai-myd.org>**

Doy fe.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez

Director Editorial

Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.

(978-607-5893)

Dublín 34, Residencial Monte Magno

C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.

Cel 2282386072



ÍNDICE

Prólogo:	3
Vector 1. Bienestar y tecnología humanista: sistemas, procesos y dispositivos al servicio del cuidado y la equidad.	7
Coordinación segura de drones cooperativos para transporte de cargas: criterios operativos con sentido social.....	8
Diseño de un dispositivo SmartMOF Semiconducting para la Detección de Compuestos Volátiles Exhalados del Páncreas	19
Diseño e implementación de un módulo didáctico para la enseñanza de sistemas de automatización industrial mediante electroneumática y control por PLC y HMI.....	34
Análisis cinemático y simulación de un robot manipulador aplanar	45
Introducción y planteamiento del problema:.....	45
Vector 2. Computación para el desarrollo: algoritmos, sistemas inteligentes y transformación digital con sentido social.	60
Vector 3: Economía Moral, Finanzas Éticas y Gobernanza Socialmente Responsable.....	61
El impacto de las ODS en la Administración Municipal en la Ciudad de Agua Prieta, Sonora.	62
Vector 4: Producción; automatización y eficiencia energética con responsabilidad ambiental; Innovación Organizacional; Mejora Continua y Trabajo Digno.	72
Evolución y retos de la logística industrial en Agua Prieta, Sonora: Proyección estratégica hacia la competitividad regional.....	73
Las certificaciones para exportación de frutos mexicanos	84
Compresión física del fenómeno de licuefacción de suelos marinos porosos y su aplicación ingenieril	97
Caracterización biomecánica del gesto técnico en el lanzamiento de martillo: una aproximación desde la ergonomía física.....	111
Evaluación Económica de Centro de Maquinado, Herramienta Abstracta de la Compresión Situacional	120
Podadora Ergonómica	132
Administración de Proceso Constructivo de Vivienda, Herramienta Abstracta de la Compresión Situacional	144



Vector 5. Educación como vector transformador: prácticas, innovación y tecnologías para la justicia social.	158
Aplicación de la Técnica de Feynman en Estudiantes Universitarios como Estrategia de Aprendizaje Profundo.....	159
Choque cultural y la conformación de la identidad adolescente	171
Ontología del aprendizaje en las nuevas generaciones universitarias: un análisis cuantitativo de las prácticas docentes en el TecNM, Campus Agua Prieta	186



PRÓLOGO:

En un escenario global en el que la Industria 4.0 evoluciona hacia la Industria 5.0, una etapa en la que la tecnología deja de ser únicamente un medio de automatización para convertirse en un espacio de co – creación entre humanos y sistemas inteligentes, la producción científica adquiere un papel determinante. Esta transición no es uniforme ni exenta de tensiones: convive con brechas digitales, desigualdades territoriales y modelos económicos que afrontan ciclos de incertidumbre y reconfiguración. De ahí que el conocimiento no pueda limitarse a describir la realidad; debe aspirar a transformarla con responsabilidad ética y sentido humano.

En este contexto, la investigación científica, tecnológica, educativa y social se convierte en una herramienta estratégica para comprender fenómenos complejos y para diseñar soluciones pertinentes que fortalezcan el desarrollo con equidad. El presente libro se inscribe en esa dirección. Es producto de los diálogos, reflexiones y trabajos presentados durante el Congreso Multidisciplinario Internacional Tecnológico (CMIT 2025), realizado en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Agua Prieta, bajo el lema *“Convergencia científica para la transformación social”*.

La obra reúne aportaciones seleccionadas y evaluadas por pares académicos, estructuradas en torno a los vectores temáticos definidos por el comité científico del congreso. Con ello, se busca contribuir a la construcción de saberes que articulen investigación, innovación y compromiso territorial, en coherencia con el Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México y con los ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030.

Este libro colectivo nace como resultado del esfuerzo institucional por consolidar al Congreso Multidisciplinario Internacional Tecnológico (CMIT 2025) como una plataforma para la producción, intercambio y difusión del conocimiento científico con sentido ético y arraigo territorial. El CMIT no se concibió únicamente como un escenario para presentar resultados de investigación, sino como un espacio de convergencia en el que las necesidades emergentes del país dialogan con la capacidad creativa y crítica de su comunidad académica. Así, el congreso se erige como un nodo articulador entre ciencia, educación y desarrollo socio técnico.

Este proyecto editorial se inspira en los principios del Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México, que reconoce la centralidad de lo humano en los procesos formativos, promueve la sostenibilidad y la justicia social, y orienta la formación de profesionistas capaces de incidir en su entorno con responsabilidad y conciencia histórica. Asimismo, encuentra fundamento en los ejes del Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030, particularmente en lo relativo a la generación



de conocimiento útil, inclusivo y transformador, que contribuya a fortalecer la competitividad industrial solidaria: un modelo de desarrollo que equilibra productividad, bienestar laboral, cohesión comunitaria y sostenibilidad ambiental.

Desde esta perspectiva, la Industria 5.0 no se entiende únicamente como un avance tecnológico, sino como una apuesta por sistemas productivos en los que la tecnología se integra al servicio de la dignidad humana, la memoria de los territorios y el fortalecimiento del tejido social. La presente obra, entonces, no solo documenta una experiencia institucional, sino que convoca a pensar la investigación como acción transformadora: como práctica colectiva que articula la vida pública, la formación profesional, la innovación productiva y el desarrollo comunitario.

El proceso editorial que dio origen a esta obra se diseñó y ejecutó bajo criterios de calidad académica, transparencia y rigurosidad científica. A partir de la convocatoria emitida para el Congreso Multidisciplinario Internacional Tecnológico (CMIT 2025), se recibieron 34 propuestas de capítulo elaboradas por autores procedentes de distintos contextos institucionales, regiones y trayectorias de investigación. Cada manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación por pares académicos bajo la modalidad de doble ciego, garantizando análisis independientes, dictámenes imparciales y observaciones fundamentadas en criterios técnicos más que en valoraciones personales.

El comité científico del congreso, integrado por especialistas correspondientes a los vectores temáticos del evento, analizó la pertinencia teórica, solidez metodológica, originalidad, claridad argumentativa y coherencia narrativa de cada contribución. Tras este proceso de revisión, retroalimentación y ajustes editoriales, se seleccionaron 18 capítulos para su inclusión en la presente obra.

No obstante, la selección final no se limitó a verificar el cumplimiento de criterios formales. Se buscó, además, identificar aquellos trabajos capaces de dialogar con los desafíos contemporáneos desde perspectivas interdisciplinarias y con sentido de compromiso territorial. Los capítulos aquí reunidos se articulan con una visión de competitividad industrial solidaria, entendida como una estrategia integral que conjuga productividad y bienestar laboral, innovación tecnológica y cohesión comunitaria, crecimiento económico y sostenibilidad ambiental. En su conjunto, la obra ofrece un mapa de ideas, experiencias y propuestas orientadas a pensar la transformación sociotécnica de nuestros contextos sin renunciar a la dignidad humana como eje rector.

La presente obra se organiza en torno a los vectores temáticos definidos por el comité académico del CMIT 2025, los cuales funcionan como ejes articuladores entre la investigación científica, los desafíos contemporáneos del país y los principios formativos del Modelo Educativo del



Tecnológico Nacional de México. Estos vectores permiten ordenar los contenidos desde una perspectiva interdisciplinaria y situada, reconociendo que el conocimiento adquiere sentido cuando se vincula con las realidades materiales, culturales y productivas de los territorios en los que se genera.

Los capítulos reunidos en este volumen abordan problemáticas diversas mediante enfoques que integran investigación teórica y aplicada, experiencias pedagógicas, desarrollos tecnológicos y propuestas de intervención social. Esta pluralidad metodológica no es accidental: expresa la convicción de que la producción científica debe dialogar con la complejidad de la vida social y que los desafíos que enfrentamos exigen múltiples lenguajes, herramientas y modos de comprender el mundo.

A través de los distintos vectores, que exploran temas como el bienestar y tecnología humanista, computación con sentido social, sostenibilidad productiva, economía ética y educación como espacio de justicia, el libro propone un recorrido que va desde lo técnico a lo ético, de lo local a lo estructural, y del análisis a la acción. La obra invita a reconocer que la investigación no es solo un ejercicio intelectual, sino una práctica situada que interpela nuestras formas de producir, trabajar, educar y convivir. Así, este volumen constituye un tejido reflexivo que asume la complejidad de nuestro tiempo sin renunciar a la posibilidad y responsabilidad de transformarlo. La consolidación de esta obra colectiva fue posible gracias al compromiso de quienes sostienen, día con día, una comunidad académica crítica, ética y colaborativa. A las y los autores, nuestro reconocimiento: sus trabajos nacen de la inquietud por comprender el presente y del deseo de construir alternativas con valor social. Su disposición para revisar, reescribir y depurar cada idea expresa una ética científica que honra el oficio de pensar con responsabilidad.

De igual manera, agradecemos profundamente al comité científico del CMIT 2025, así como a las y los pares evaluadores que, mediante un ejercicio de dictaminación a doble ciego, garantizaron la calidad, pertinencia y coherencia de los capítulos que hoy integran esta obra. Su trabajo, muchas veces silencioso y exigente, es la columna vertebral en la construcción de conocimiento confiable y significativo.

Finalmente, reconocemos el liderazgo del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Agua Prieta, cuya visión institucional hizo posible no sólo la realización del congreso, sino también la proyección de esta obra como una contribución tangible a la convergencia entre ciencia, educación y transformación social. Esta publicación representa, en su conjunto, un ejemplo de cómo la colaboración entre academia, instituciones y comunidad puede derivar en productos con impacto duradero.



Este libro no se entiende sólo como un producto editorial; se asume como una apuesta por sostener espacios de diálogo científico con arraigo territorial, vocación crítica y compromiso transformador. Las páginas que lo integran no buscan fijar verdades definitivas, sino abrir preguntas necesarias, proponer rutas posibles y recordar que la ciencia es más valiosa cuando se reconoce situada, ética y solidaria.

Invitamos al lector a recorrer esta obra con atención y apertura, reconociendo en cada capítulo una contribución particular y, al mismo tiempo, una expresión del potencial colectivo de la investigación orientada al bien común. Aquí, la educación, la tecnología y la innovación se piensan no sólo como motores productivos, sino como herramientas para construir comunidades justas, sostenibles y conscientes de su historia.

Nos encontramos en los albores de la Industria 5.0, una etapa en la que los sistemas inteligentes y el análisis de datos se articulan con la experiencia humana para orientar el desarrollo hacia la dignidad, sostenibilidad y el bienestar común. La tarea no es menor: implica diseñar tecnologías que acompañen la vida en vez de sustituirla, consolidar modelos productivos que reconozcan la complejidad de los territorios y fortalecer formas de competitividad que no desconozcan la solidaridad como fundamento ético.

Que estas páginas sean puente y semilla: puente para dialogar entre disciplinas, instituciones y territorios; semilla de investigaciones, alianzas y decisiones que den forma a un porvenir mayormente justo.

Porque el futuro no llega: se construye: y construirlo exige pensamiento claro, sensibilidad profunda y una ética que no renuncie a la esperanza.

Que este libro sea una invitación a sostener la esperanza con método y claridad; a ejercer la ciencia con humanidad; a crear tecnología con sostenibilidad; y a orientar la innovación hacia la justicia social.

Comité editorial:

Dra. Mayra Karina Gálvez Díaz.

Dr. Lamberto Vazquez Veloz.

M.I.A. Manuel Antonio Rivera Rodríguez.



VECTOR 1. BIENESTAR Y TECNOLOGÍA HUMANISTA:

SISTEMAS, PROCESOS Y DISPOSITIVOS AL SERVICIO DEL CUIDADO Y LA EQUIDAD.

En el contexto de los desafíos que plantea el desarrollo tecnológico en México — especialmente en términos de automatización, desigualdad en el acceso a la innovación, y el rezago en tecnologías para el bienestar social—, este vector propone repensar el papel de la ingeniería electrónica y mecatrónica como vehículos de transformación con justicia social. Alineado con los ejes del Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030, en particular el de Desarrollo con bienestar y humanismo, y con los pilares del Modelo Educativo del TecNM, este vector impulsa el diseño y aplicación de sistemas, dispositivos y tecnologías desde un enfoque ético, accesible, inclusivo y sustentable, que atienda necesidades reales de las personas y las comunidades. Este espacio temático invita a generar soluciones de alto impacto a través de tecnologías mecatrónicas, sistemas embebidos, automatización y dispositivos biomédicos, orientados al cuidado de la salud, la dignificación del trabajo, la accesibilidad tecnológica y el fortalecimiento de procesos productivos humanos y eficientes. Se convoca a la presentación de investigaciones, prototipos, estudios de caso y desarrollos tecnológicos que integren robótica, electrónica, diseño mecánico, control inteligente e inteligencia artificial, sin perder de vista el tejido social, ambiental y ético al que pertenecen.



COORDINACIÓN SEGURA DE DRONES COOPERATIVOS PARA TRANSPORTE DE CARGAS: CRITERIOS OPERATIVOS CON SENTIDO SOCIAL

Autor: Lamberto Vázquez Soqui

Coautores: Diego Mercado Ravell; Fátima Oliva Palomo

Institución de adscripción: Centro de Investigación en Matemáticas A.C., Unidad Zacatecas

Correo electrónico de contacto: lamberto.vazquez@cimat.mx

Resumen:

El transporte cooperativo de cargas con múltiples drones ofrece una alternativa realista para acercar insumos y servicios a regiones de difícil acceso, siempre que la coordinación priorice seguridad y previsibilidad. Este trabajo presenta, de forma didáctica y aplicada, cómo tres criterios operativos pueden traducirse en decisiones de control útiles en campo: moderación del esfuerzo total para repartir tensiones y evitar picos en una sola aeronave, separación cable a cable para sostener márgenes geométricos seguros y continuidad direccional para mantener correcciones sobrias y movimientos predecibles. Estos criterios se integran en una arquitectura jerárquica de cuatro niveles sin imponer formaciones rígidas y se ilustran con escenas representativas que muestran trayectorias cercanas a la deseada, una geometría estable alrededor de la carga y un reparto equilibrado del trabajo entre vehículos.

El aporte principal es explicar y ejemplificar cómo convertir prioridades operativas en acciones concretas sobre tensiones y direcciones, con implicaciones directas para entregas médicas, búsqueda y rescate, logística de última milla y monitoreo ambiental. El soporte de cómputo en línea se emplea como medio para materializar los criterios en tiempos compatibles con control, favoreciendo autonomía, continuidad del servicio y una operación más segura cerca de personas e infraestructura. La orientación general se alinea con una tecnología humanista centrada en el cuidado, la accesibilidad y la dignidad del trabajo.

Palabras clave: Drones cooperativos, control jerárquico, optimización no lineal, bienestar tecnológico, tecnología humanista.

Introducción y planteamiento del problema:

En México persisten brechas territoriales de acceso efectivo a la salud: múltiples localidades rurales y dispersas deben recorrer trayectos prolongados para llegar a servicios básicos, lo que compromete la oportunidad de atención y la continuidad de tratamientos. Diversos diagnósticos nacionales subrayan que la accesibilidad geográfica sigue siendo un cuello de botella para el



ejercicio del derecho a la salud, en especial en contextos con rezagos de infraestructura y conectividad (CONEVAL, 2024).

Ante ese reto, la logística aérea con drones se evalúa internacionalmente como apoyo complementario al transporte terrestre para el traslado de insumos médicos, diagnósticos y vacunas, siempre que se articule con protocolos locales y capacidades institucionales. Experiencias y lineamientos recientes documentan su potencial para reducir tiempos de entrega y mejorar cobertura en zonas remotas o de difícil acceso (BID, 2020; UNICEF, 2020; Banco Mundial, 2024).

El transporte cooperativo de cargas suspendidas con vehículos aéreos no tripulados ha madurado desde estrategias iniciales basadas en formaciones y arquitecturas tempranas hasta convertirse en una alternativa viable con implementaciones en múltiples dominios. Al distribuir la tarea de carga entre varias plataformas, estos sistemas superan las limitaciones de la relación empuje peso de las soluciones con un solo dron y aportan tolerancia a fallas (Maza et al., 2010; Jackson et al., 2020; Mercado Ravell et al., 2024; Oliva Palomo et al., 2024). La consolidación del área se ha visto acelerada por herramientas de simulación enfocadas en transporte y manipulación aérea (Li et al., 2023) y por metodologías cooperativas que estructuran el control de manera jerárquica alrededor de la carga y de los vehículos (Geng y Langelaan, 2020; Villa et al., 2021). Revisiones recientes identifican tres retos persistentes para su adopción rutinaria: la subdeterminación en el reparto de tensiones, la dinámica pendular de la carga y el incremento del riesgo de colisiones entre aeronaves y cables conforme aumenta el tamaño del equipo (Villa et al., 2020).

Para enfrentar estos desafíos, se han explorado líneas de control no lineal y control geométrico robusto que estabilizan la carga y organizan las decisiones en cascada desde la carga hasta la actitud (Goodarzi y Lee, 2015; Cai y Xian, 2024). En paralelo, han cobrado relevancia enfoques guiados por optimización que insertan solucionadores rápidos dentro del lazo. Entre ellos se encuentran estrategias de asignación de fuerzas mediante cascadas de programas cuadráticos que reproducen el wrench objetivo y evitan colisiones conservando estabilidad (Wahba y Hönl, 2024), control predictivo distribuido en el que cada vehículo resuelve localmente su MPC con intercambio de información limitado y logra transporte cooperativo estable con múltiples plataformas (Wehbeh et al., 2020), optimización de trayectorias distribuida y escalable que paraleliza el cómputo respetando dinámicas no lineales y restricciones no convexas (Jackson et al., 2020), optimización rápida para maniobras ágiles con cargas suspendidas (Foehn et al., 2016), esquemas robusto adaptativos en formación que afrontan incertidumbres paramétricas y perturbaciones (Doakhan et al., 2023) y análisis de co-manipulación con énfasis en fuerzas



internas que establecen criterios de equilibrio, estabilidad y pasividad en configuraciones con cables (Tognon et al., 2018). En conjunto, esta evidencia subraya que atender de forma explícita la redundancia y las restricciones físicas y geométricas mediante optimización es clave para la seguridad y la eficiencia, más allá del ajuste fino de ganancias.

A pesar de los avances, persisten vacíos al intentar equilibrar simultáneamente la eficiencia energética, la separación entre cables y un comportamiento parsimonioso por vehículo bajo incertidumbre. Diversas formulaciones priorizan sustitutos de energía y pueden derivar en direcciones colineales o casi colineales, mientras que los costos geométricos más expresivos suelen aumentar la carga computacional. En este trabajo se emplea una arquitectura jerárquica de cuatro niveles en la que el control de carga genera la fuerza virtual total, un bloque de asignación distribuye esa fuerza y los niveles de posición y actitud producen las referencias. La función de costos combina un término cuadrático en tensiones, un término de separación cable a cable basado en productos punto al cuadrado y un término de continuidad direccional que desalienta cambios de signo en componentes horizontales entre instantes consecutivos. Esta combinación busca atenuar cambios angulares bruscos, favorecer trayectorias predecibles por vehículo y reducir desplazamientos innecesarios en presencia de ruido y perturbaciones, sin imponer formaciones rígidas. El problema se resuelve mediante programación secuencial cuadrática con subproblemas de tamaño reducido y arranques tibios, en tiempos compatibles con la frecuencia de control (Oliva Palomo et al., 2024; MathWorks, 2025).

Frente a lo anterior, la aportación específica de este manuscrito es abrir una discusión aplicada y didáctica sobre cómo traducir criterios de seguridad, confiabilidad y equidad operativa en decisiones de control explicables para equipos de campo. Se muestra cómo la combinación de esfuerzo total, separación cable a cable y continuidad direccional permite sostener márgenes geométricos seguros, repartir el trabajo entre aeronaves y promover movimientos sobrios por vehículo, articulando estos principios con usos de alto impacto social como entrega de insumos médicos, apoyo a búsqueda y rescate, monitoreo ambiental y logística de última milla. Este enfoque se alinea con un vector de tecnología humanista orientado al cuidado, la accesibilidad y la dignidad del trabajo, coherente con el Vector 1 de la convocatoria CMIT 2025.

Objetivos:

Demostrar la aplicabilidad y los usos prioritarios de sistemas cooperativos de drones con carga suspendida, integrados en una arquitectura jerárquica de cuatro niveles, vinculando criterios de seguridad, confiabilidad y equidad operativa con casos de uso en salud, búsqueda y rescate, logística de última milla y monitoreo ambiental, mediante escenas representativas que emplean



una regla de decisión para la asignación de tensiones basada en esfuerzo total, separación cable a cable y continuidad direccional, a fin de reducir riesgos de desbalance energético, alineamientos peligrosos y oscilaciones de la carga y favorecer la autonomía operativa y la aplicabilidad en escenarios de interés social.

Metodología:

El estudio adopta la arquitectura jerárquica de cuatro niveles de Oliva-Palomo et al. (2024): control de la carga, asignación de tensiones, control de posición y control de actitud. El encadenamiento es operativo y trazable: el nivel de carga determina la fuerza requerida sobre el sistema; la asignación la reparte entre cables como tensiones y direcciones; el nivel de posición define las referencias por vehículo; y el nivel de actitud orienta cada aeronave para generar el empuje correspondiente. Esta organización sirve para explicar y observar cómo se mantienen la estabilidad de la carga, los márgenes entre cables y la sobriedad del movimiento por vehículo en situaciones realistas.

La dinámica traslacional de cada vehículo de masa m_i y la dinámica de la carga de masa m_L se modelaron como

$$m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = f_i \mathbf{R}_i(\bar{q}_i) \mathbf{e}_3 - m_i g \mathbf{e}_3 + T_i \boldsymbol{\alpha}_i \quad (1)$$

$$m_L \ddot{\mathbf{x}}_L = -m_L g \mathbf{e}_3 - \sum_{i=1}^n T_i \boldsymbol{\alpha}_i \quad (2)$$

con la restricción geométrica de cable rígido $\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_L - L_i \boldsymbol{\alpha}_i$ y $\|\boldsymbol{\alpha}_i\| = 1$. En estas expresiones, f_i es el empuje total del vehículo i , $\mathbf{R}_i(\bar{q}_i)$ es su matriz de rotación a partir del cuaternión unitario \bar{q}_i , \mathbf{e}_3 es el vector vertical, T_i es la tensión del cable i , L_i es su longitud y $\boldsymbol{\alpha}_i$ es su dirección unitaria apuntando del vehículo hacia la carga.

En el nivel de carga se generó la fuerza virtual requerida para el seguimiento a partir del error de posición $\mathbf{e}_L = \mathbf{x}_L - \mathbf{x}_{Ld}$ y del error de velocidad $\dot{\mathbf{e}}_L = \dot{\mathbf{x}}_L - \dot{\mathbf{x}}_{Ld}$. Se utilizaron matrices diagonales de ganancias proporcional, derivativa e integral \mathbf{K}_{pL} , \mathbf{K}_{dL} , \mathbf{K}_{iL} :

$$\mathbf{u}_L = -m_L(g \mathbf{e}_3 + \ddot{\mathbf{x}}_{Ld}) - \mathbf{K}_{pL} \mathbf{e}_L - \mathbf{K}_{dL} \dot{\mathbf{e}}_L - \mathbf{K}_{iL} \int \mathbf{e}_L dt \quad (3)$$

y se impuso que dicho esfuerzo fuera reproducido por tensiones y direcciones deseadas

$$\mathbf{u}_L = - \sum_{i=1}^n T_{id} \boldsymbol{\alpha}_{id} \quad (4)$$



Las cantidades deseadas T_{id} y α_{id} se obtuvieron resolviendo un problema que equilibra eficiencia, seguridad geométrica y continuidad temporal de las direcciones. La función objetivo es

$$\min_{\{T_{id}, \alpha_{id}\}} J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n T_{id}^2 + \mu \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\alpha_{id}^T \alpha_{jd})^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \left[(1 - \alpha_{id}^T \alpha_{i, \text{prev}})^2 + P_{\text{flip}, i} \right] \quad (5)$$

donde $\mu > 0$ pondera la separación cable a cable, $\lambda > 0$ introduce un sesgo de continuidad direccional y $\alpha_{i, \text{prev}}$ es la dirección previa del cable i . El término $P_{\text{flip}, i}$ penaliza cambios de signo en componentes horizontales cuando la dirección previa tiene magnitud apreciable para desalentar giros cercanos a la oposición bajo incertidumbre. El problema se resolvió con las restricciones

$$\sum_{i=1}^n T_{id} \alpha_{id} = -\mathbf{u}_L \quad (6)$$

$$T_{id} \geq 0 \quad (7)$$

$$\|\alpha_{id}\| = 1 \quad (8)$$

Tratar α_{id} como variables de decisión además de T_{id} permite redistribuir magnitudes y direcciones y preservar márgenes geométricos sin imponer formaciones rígidas. El término $(\alpha_{id}^T \alpha_{jd})^2$ equivale a $\cos^2 \theta_{ij}$ y penaliza direcciones paralelas o antiparalelas. El término de continuidad $(1 - \alpha_{id}^T \alpha_{i, \text{prev}})^2$ favorece coherencia entre instantes y ayuda a evitar desplazamientos innecesarios por vehículo cuando hay ráfagas de viento.

El problema se resuelve con programación secuencial cuadrática (SQP), linealizando las restricciones y aproximando el Lagrangiano con una hessiana cuasi-Newton, con búsqueda en línea para el tamaño de paso y conjunto activo para cotas. Las direcciones se normalizan por proyección en la esfera unidad. Para continuidad de servicio, cada ciclo inicia desde la solución previa (warm start); en el primer ciclo se emplean tensiones uniformes y direcciones radiales normalizadas. Las tolerancias de factibilidad y optimalidad se fijan en consonancia con la frecuencia de control.

La referencia de posición de cada vehículo se calculó con la cinemática del cable $\mathbf{x}_{id} = \mathbf{x}_{Ld} - L_i \alpha_{id}$. A partir de los errores de posición y velocidad se obtuvo una fuerza virtual por vehículo y, con ella, el empuje y la orientación deseados. El nivel de actitud utilizó cuaterniones para alinear cada aeronave con su referencia.

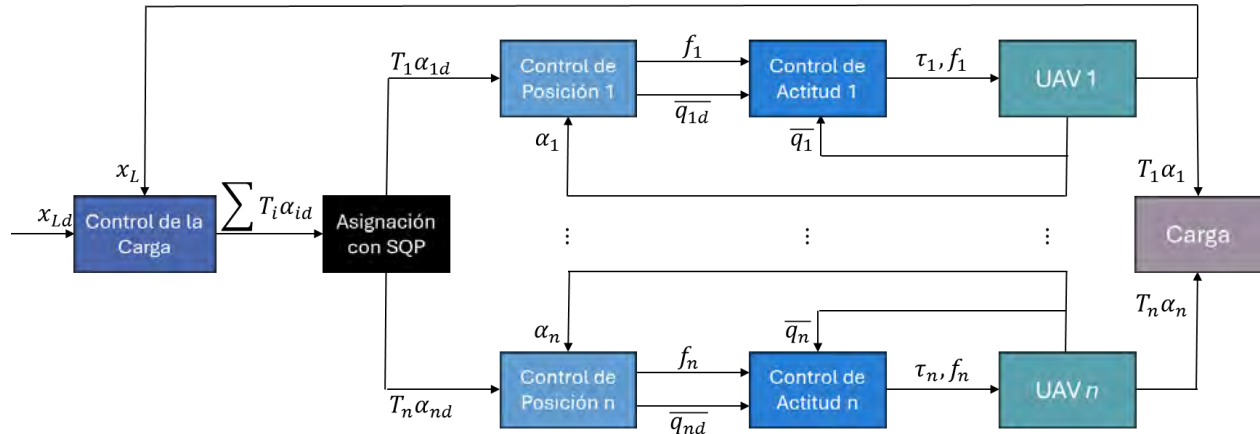
Se consideran escenas representativas con ráfagas de viento sobre el conjunto carga-vehículos con cables rígidos. La Figura 1 resume el flujo entre niveles y la ubicación del módulo de asignación que aplica los criterios operativos descritos. Con esta base, el análisis posterior se



enfoca en cómo se organiza el movimiento del equipo (trayectoria seguida por la carga, separación entre cables y magnitud de correcciones por vehículo) y qué implica esto para las aplicaciones en entornos reales.

Figura 1

Diagrama de bloques de la arquitectura jerárquica de control.

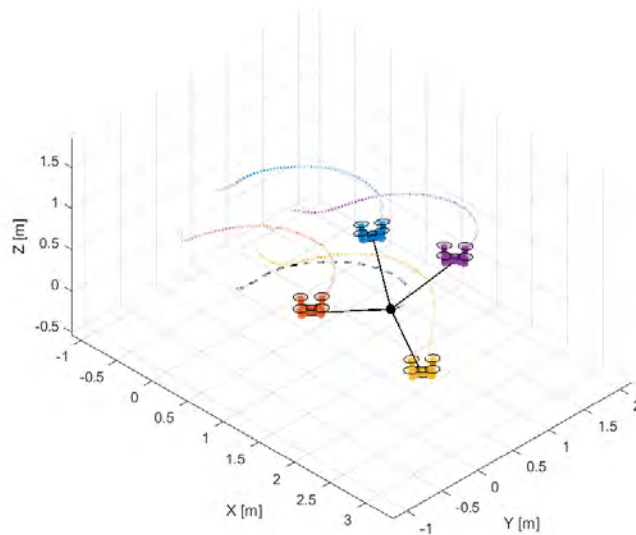


Nota. Se muestran los cuatro niveles, el recorrido de señales y el módulo de asignación que implementa los criterios de esfuerzo total, separación cable a cable y continuidad direccional.

Análisis y discusión de resultados:

Figura 2

Vista tridimensional del sistema durante la misión espiral ascendente

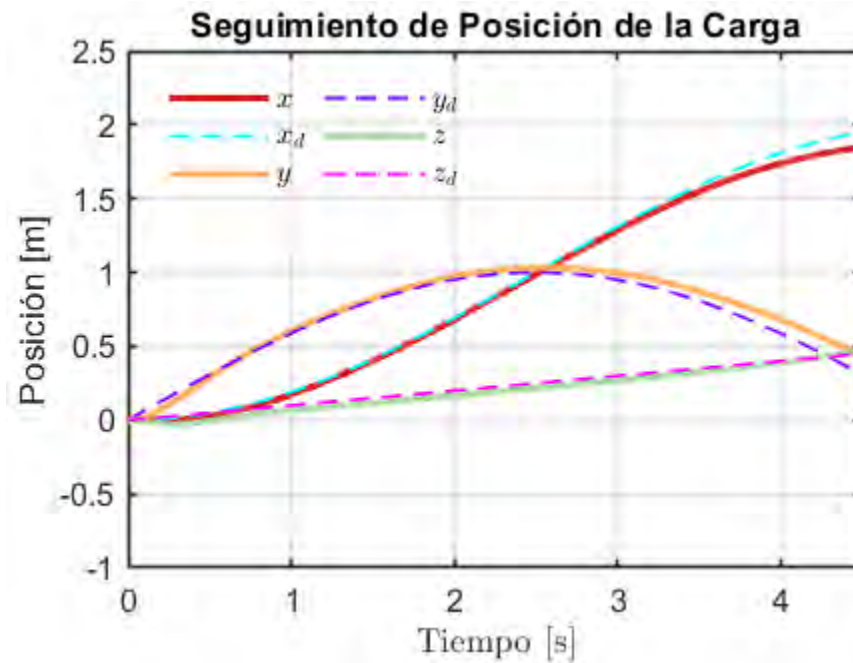


Nota. Se aprecia la configuración espacial alrededor de la carga y la separación cable a cable que promueve el asignador, sin imponer una formación rígida.



Figura 3

Seguimiento de la trayectoria de la carga con ráfagas de viento



Nota. Se comparan la trayectoria deseada y la trayectoria seguida.

Las escenas muestran un conjunto que responde con orden. En la vista tridimensional se aprecia una geometría estable alrededor de la carga y direcciones de cable que evitan alineamientos críticos. El movimiento de cada vehículo se mantiene contenido cerca de su región operativa, lo que ayuda a conservar distancias claras entre plataformas. En la Figura 3 la trayectoria seguida permanece próxima a la deseada y los desvíos no presentan derivas sostenidas, señal de que el sistema conserva estabilidad y sobriedad en las correcciones.

El comportamiento operativo se explica por los tres criterios de asignación. El criterio de tensiones atenúa picos innecesarios y reparte el esfuerzo entre aeronaves, reduciendo la probabilidad de que una sola plataforma se agote antes de tiempo y facilitando turnos largos con menos interrupciones. El criterio de separación cable a cable desincentiva la colinealidad y preserva márgenes angulares útiles para operar cerca de fachadas, luminarias, antenas y otras estructuras. El criterio de continuidad direccional modera el ritmo de cambio de las direcciones y evita zigzags, de modo que las correcciones sean sobrias.

Este patrón operativo habilita escenarios concretos. En entregas de insumos y apoyo sanitario, facilita depositar material en helipuertos improvisados, azoteas y patios pequeños, donde la estabilidad del grupo es clave para la seguridad del personal. En búsqueda y rescate, ayuda a mantener la carga estable al pasar entre corrientes de aire canalizadas por cañones urbanos o



laderas y permite trayectorias sobrias que simplifican la coordinación con brigadas. En logística de última milla y monitoreo ambiental, mejora la repetibilidad de rutas, lo que a su vez facilita planificar ventanas de servicio y ajustar el mantenimiento preventivo. En inspección y servicio público, mantener separación cable a cable reduce incidentes cerca de líneas eléctricas o estructuras metálicas y se alinea con protocolos de seguridad locales.

El ajuste de los pesos de los criterios permite adaptar el comportamiento a cada misión. Un mayor peso en separación favorece márgenes angulares amplios en entornos estrechos (pasillos entre edificios, corredores arbolados). Un mayor peso en continuidad direccional prioriza movimientos sobrios y aterrizajes precisos en plataformas pequeñas. En misiones largas puede convenir resaltar el criterio de tensiones para repartir el esfuerzo y extender la autonomía. El operador puede elegir combinaciones distintas para fases de una misma misión (ascenso, crucero, entrega).

También hay implicaciones para la gestión de flotas. Al evitar que una aeronave concentre sistemáticamente el esfuerzo, los ciclos de batería y temperatura se reparten y los componentes sufren menos estrés. Con trayectorias predecibles es más sencillo programar corredores aéreos y zonas de espera sin interferencias, mejorando la convivencia con otros drones y con tráfico tripulado a baja altura. La geometría estable de cables facilita, además, la integración con geocercas y con reglas operativas que exigen distancias mínimas a personas o infraestructura. La interpretación de los resultados es directa: el sistema mantiene una formación geométrica estable, la oscilación de la carga permanece acotada y las maniobras de corrección de los vehículos son moderadas. Esa combinación de estabilidad geométrica, reparto de esfuerzo y continuidad del movimiento convierte a la asignación basada en criterios operativos en un aliado para misiones donde la seguridad y la previsibilidad son tan importantes como llegar a destino.

Conclusiones:

El trabajo consolida criterios operativos para la coordinación segura de sistemas multi-UAV con carga: reparto del esfuerzo para evitar picos y balancear trabajo, separación cable a cable para sostener márgenes geométricos, y continuidad direccional para mantener correcciones predecibles. Integrados en una arquitectura jerárquica estándar, estos criterios orientan decisiones de campo sobre tensiones y direcciones de manera explicable y transferible entre configuraciones y trayectorias, reforzando usos de interés social como entregas médicas, apoyo a rescate y logística de última milla.

La validación progresiva y situada debe ampliar campañas de simulación para explorar sensibilidad de pesos y perfiles de misión, avanzar a entornos SITL (Software-In-The-Loop) y HIL



(Hardware-In-The-Loop), y realizar pruebas controladas en campo con protocolos de seguridad y geocercas. También conviene extender el modelo hacia cargas con actitud y cables con flexibilidad, y migrar gradualmente a esquemas distribuidos con límites de comunicación y tolerancia a fallas. La meta es traducir los criterios en lineamientos claros de sintonía y operación que reduzcan el desbalance energético, eviten alineamientos peligrosos y limiten las oscilaciones de la carga, favoreciendo la autonomía y la continuidad del servicio en contextos reales.



Referencias bibliográficas

1. Cai, J., & Xian, B. (2024). Robust hierarchical geometry control for a multiple-UAV aerial transportation system with a suspended payload. *Nonlinear Dynamics*, 112(6), 4551–4571.
2. CONEVAL. (2024). *El derecho a la salud para las entidades federativas de México: Compendio*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Documents/Compendio_Derecho_Salud_Int.pdf
3. Doakhan, M., Kabganian, M., & Azimi, A. (2023). Robust adaptive control for formation-based cooperative transportation of a payload by multi-quadrotors. *European Journal of Control*, 69, 100763.
4. Foehn, P., Falanga, D., Kuppuswamy, N., Tedrake, R., & Scaramuzza, D. (2016). Fast trajectory optimization for agile quadrotor maneuvers with a cable-suspended payload. In *Robotics: Science and Systems (RSS) Workshop*.
5. Geng, J., & Langelaan, J. W. (2020). Cooperative transport of a slung load using load-leading control. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 43(7), 1313–1331.
6. Goodarzi, F. A., & Lee, T. (2015). Dynamics and control of quadrotor UAVs transporting a rigid body connected via flexible cables. In *2015 American Control Conference (ACC)* (pp. 4677–4682).
7. INEGI. (2020). *Rural y urbana: Población (Censo 2020, Cuéntame de México)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://cuentame.inegi.org.mx/descubre/poblacion/rural_urbana/
8. Inter-American Development Bank. (2020). *Drones y el transporte de insumos médicos en zonas rurales de República Dominicana*. BID Publicaciones. <https://publications.iadb.org/es/drones-y-el-transporte-de-insumos-medicos-en-zonas-rurales-de-republica-dominicana>
9. Jackson, B. E., Howell, T. A., Shah, K., Schwager, M., & Manchester, Z. (2020). Scalable cooperative transport of cable-suspended loads with UAVs using distributed trajectory optimization. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3368–3374.
10. Li, G., Liu, X., & Loianno, G. (2023). RotorTM: A flexible simulator for aerial transportation and manipulation. *IEEE Transactions on Robotics*, 1–20.
11. MathWorks. (2025). *Constrained nonlinear optimization algorithms*. Recuperado de <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/constrained-nonlinear-optimization-algorithms.html>



12. Maza, I., Kondak, K., Bernard, M., & Ollero, A. (2010). Multi-UAV cooperation and control for load transportation and deployment. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 57(1–4), 417–449.
13. Mercado-Ravell, D., Oliva-Palomo, F., Sanahuja, G., & Castillo, P. (2024). Control and real-time experiments for a multi-agent aerial transportation system. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 46(12), 616.
14. Oliva-Palomo, F., Mercado-Ravell, D., & Castillo, P. (2024). Aerial transportation control of suspended payloads with multiple agents. *Journal of the Franklin Institute*, 361(7), 106787.
15. Tognon, M., Gabellieri, C., Pallottino, L., & Franchi, A. (2018). Aerial co-manipulation with cables: The role of internal force for equilibria, stability, and passivity. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3), 2577–2583.
16. UNICEF. (2020). *Rapid guidance: How drones can help in COVID-19 response*. United Nations Children’s Fund. <https://www.unicef.org/supply/media/5286/file/Rapid-guidance-how-can-drones-help-in-Covid-19-response.pdf>
17. Villa, D. K. D., Brandão, A. S., & Sarcinelli-Filho, M. (2020). A survey on load transportation using multicopter UAVs. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 98(2), 267–296.
18. Villa, D. K. D., Brandão, A. S., Carelli, R., & Sarcinelli-Filho, M. (2021). Cooperative load transportation with two quadrotors using adaptive control. *IEEE Access*, 9, 129148–129160.
19. Wahba, K., & Hönig, W. (2024). Efficient optimization-based cable force allocation for geometric control of a multicopter team transporting a payload. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 9(4), 3688–3695.
20. Wehbeh, J., Rahman, S., & Sharf, I. (2020). Distributed model predictive control for UAVs collaborative payload transport. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 11666–11672).
21. World Bank. (2024, diciembre 5). *Drones al servicio del desarrollo: ayudando a América Latina y el Caribe a superar obstáculos de desarrollo*. *World Bank Blogs*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/drones-help-latin-america-caribbean-overcome-development-obstacles>



DISEÑO DE UN DISPOSITIVO SMARTMOF SEMICONDUCTING PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EXHALADOS DEL PÁNCREAS

Autor: J. A. Gámez-Corrales,

Coautores: A Rosas-Durazo

Institución de adscripción: Departamento de Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Hermosillo.

Correo electrónico de contacto: jose.gamezc@hermosillo.tecnm.mx

Smartmof, semiconductor, cancer.

Resumen:

Hoy en día la problemática desafiante ante el diagnóstico temprano del cáncer pancreático y otras enfermedades del páncreas, es un gran desafío clínico debido a la falta de síntomas específicos en etapas iniciales y a la limitada sensibilidad de los métodos tradicionales. En los últimos años, se ha evidenciado que ciertas enfermedades pancreáticas pueden estar asociadas con la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOCs- biomarcadores) en el aliento exhalado, como acetona dimerizada, acetaldehído, hexanona y malondialdehído (MDA).

El objetivo de nuestro trabajo consistió en crear un modelo matemático a partir de un SmartMOF (Metal–Organic Framework inteligente) que cumpliera con las propiedades semiconductoras, capaz de detectar de forma selectiva y sensible de los VOCs relacionados con afecciones pancreáticas en la exhalación humano. Este modelo funciona como sensor óptico o eléctrico, con alta estabilidad, y que esta siendo probado, ya físicamente en condiciones fisiológicas, para un potencial de integración en dispositivos portátiles de diagnóstico no invasivo.

El principio de nuestra metodología fue realizar una revisión de literatura científica actual, seguido del comparativo de pacientes atendido en el Instituto Nacional de Cancerología de México (INCAN), así como apoyándonos en las estadísticas clínicas de México de algunas Instituciones Médicas Especializadas Privadas; estadísticas que evidencien resultados que permitan la identificación de compuestos exhalados con correlación significativa a enfermedades pancreáticas, especialmente al adenocarcinoma pancreático (PDAC). Compuestos que han mostrado alta sensibilidad y especificidad en estudios clínicos, algunos incluso superando al marcador tumoral convencional CA19-9.



Para el modelo matemático del dispositivo sensor se seleccionó, como estructura base, el mecanismo de acción que tienen el material MAF-5 (Metal Azolate Framework-5), debido a su alta estabilidad térmica y química, así como su resistencia a la humedad—condición crítica para la detección en exhalaciones. El MOF fue modelado como material tipo p con band gap estimado entre 0,5 y 1,5 eV, permitiendo respuesta eléctrica al adsorber VOCs.

Los resultados simulados indicaron que el modelo del SmartMOF propuesto muestra afinidad elevada y selectiva por acetona dimer y acetaldehído, con límites de detección (LOD) estimados por debajo de 100 ppb, dentro del rango clínicamente relevante. Este diseño es capaz de detectar de forma específica y sensible VOCs asociados a enfermedades pancreáticas como el cáncer de páncreas. La estructura basada en MAF-5 y modificada con ligandos sensibles permite su uso tanto en sensores ópticos como eléctricos. Permitiendo alta sensibilidad, selectividad y estabilidad.

Introducción:

El cáncer pancreático es una de las neoplasias más agresivas y de peor pronóstico en México. El diagnóstico suele realizarse en etapas avanzadas, cuando las opciones terapéuticas son limitadas. Actualmente, el marcador tumoral CA19-9 se utiliza como referencia clínica, pero su sensibilidad y especificidad son insuficientes para diagnóstico temprano. Por ello, la detección de VOCs exhalados ha surgido como una estrategia prometedora, no invasiva y rápida, capaz de detectar alteraciones metabólicas antes de la aparición de síntomas clínicos.

Estudios recientes han identificado compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en el aliento exhalado, como acetona dimer, acetaldehído, hexanona y malondialdehído (MDA), los cuales pueden funcionar como biomarcadores tempranos de disfunción pancreática o adenocarcinoma pancreático (PDAC). Los biomarcadores tradicionales, como CA19-9, presentan limitaciones en sensibilidad y especificidad. Por ello, la detección de VOCs en el aliento se ha propuesto como una alternativa no invasiva, rápida y prometedora.

De una década atrás, los desarrollos de los nuevos materiales, en particular para la industria de los sensores, ha evolucionado grandemente, entre estos se encuentra los metal–organic frameworks (MOF), o marcos metal-orgánicos, los cuales son materiales híbridos constituidos por nodos metálicos conectados por ligandos orgánicos, formando estructuras porosas altamente ordenadas. Estos materiales han atraído gran atención en campos como la adsorción, catálisis, almacenamiento y separación de gases, y detección química.



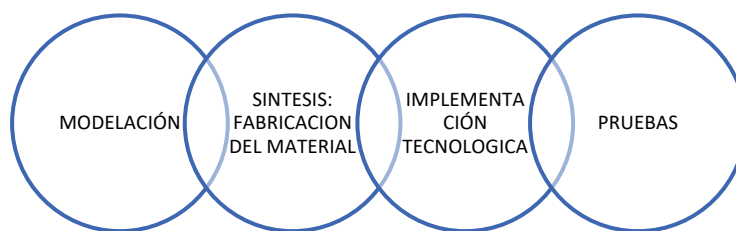
Dentro de esta familia, los MOF semiconductores inteligentes (SmartMOF semiconducting) representan una nueva generación de materiales con propiedades electrónicas y de respuesta activa ante estímulos externos.

Los sensores modernos requieren materiales con alta sensibilidad, selectividad, estabilidad y capacidad de miniaturización. Los SmartMOF semiconductores cumplen con estos requisitos gracias a su estructura altamente porosa y su capacidad de conducción eléctrica modulable. Sus principales ventajas incluyen:

- Alta área superficial y accesibilidad de sitios activos, lo que favorece la interacción con analitos.
- Modulabilidad química mediante selección de metales y ligandos para una detección específica.
- Transducción eléctrica directa, permitiendo convertir interacciones químicas en señales eléctricas.
- Compatibilidad con múltiples modos de detección (óptica, eléctrica, capacitiva, piezoeléctrica).
- Posibilidad de integración en microdispositivos y sensores portátiles.

Este artículo se deriva de un proyecto de desarrollo teórico, experimental y tecnológico, donde algunas de sus etapas se trabajan en paralelo. El proyecto integrado consta de las siguientes etapas las cuales son:

Figura 1



1. Modelación:

En esta etapa se realiza el diseño conceptual del dispositivo sensor, definiendo los principios físico-químicos que regirán su funcionamiento. Se emplean herramientas computacionales para modelar la estructura del material MAF-5 (Metal–Azolate Framework-5) y simular su comportamiento ante la incorporación de grupos funcionales específicos. Estas simulaciones permiten predecir cómo la funcionalización afectará propiedades clave como la porosidad, la selectividad y



la capacidad de adsorción. Además, se establecen los parámetros de diseño del sensor, como el tipo de transductor, la geometría del dispositivo y las condiciones operativas esperadas.

2. Síntesis:

Una vez definidos los modelos teóricos, se procede a la síntesis experimental del material MAF-5 funcionalizado. En esta fase se seleccionan los precursores metálicos y los ligandos orgánicos adecuados, así como las condiciones de reacción (temperatura, solvente, pH y tiempo). El objetivo es obtener un material reproducible con las propiedades estructurales y químicas predichas en la modelación. Posteriormente, se realiza la caracterización del material mediante técnicas como difracción de rayos X (XRD), espectroscopía infrarroja (FTIR), adsorción de N₂ (BET) y microscopía electrónica (SEM o TEM), para confirmar su estructura, morfología y funcionalización efectiva.

3. Desarrollo tecnológico:

En esta etapa, el material MAF-5 funcionalizado se integra en el diseño del dispositivo sensor. Se selecciona el soporte adecuado (por ejemplo, un sustrato conductor o una microplataforma), y se optimiza el método de deposición o inmovilización del material sobre la superficie sensora. También se diseña la parte electrónica del dispositivo, incluyendo los circuitos de lectura y procesamiento de la señal. Esta fase busca lograr la compatibilidad entre el material activo y el sistema de detección, garantizando sensibilidad, estabilidad y respuesta rápida ante el analito objetivo.

4. Pruebas y validación:

Finalmente, se llevará a cabo la evaluación funcional del dispositivo sensor. Se realizan pruebas de sensibilidad, selectividad, tiempo de respuesta, reversibilidad y estabilidad bajo diferentes condiciones ambientales. Los resultados se comparan con los modelos teóricos y con sensores previamente reportados para validar la efectividad del diseño. En caso de ser necesario, se retroalimenta el proceso hacia las etapas anteriores para optimizar el desempeño. Esta fase concluye con la validación del dispositivo y la propuesta de posibles aplicaciones en detección ambiental, biomédica o industrial.



En base a lo anterior, y a la especialidad a la que se debe direccionar este artículo presentamos el reporte de las dos primeras etapas.

Para exhibir nuestros resultados iniciamos con el siguiente planteamiento a otorgar una solución.

Problemática:

Hoy en día la problemática del diagnóstico temprano del cáncer pancreático en México representa un gran desafío clínico, debido a la falta de síntomas específicos en etapas iniciales y la limitada sensibilidad de los métodos tradicionales. Según el Instituto Nacional de Cancerología (INCan), el cáncer de páncreas ocupa el 13º lugar en incidencia en el país, pero es la 7ª causa de muerte por cáncer, con una tasa de supervivencia a 5 años menor al 10%. Según INCAN el cáncer de páncreas va en un aumento constante, con aproximadamente 5,000 nuevos casos al año y una supervivencia que podría rebasar los porcentajes esperados, y superar la atención Institucional.

Propuesta:

La propuesta es determinar un modelo, que responda a un dispositivo sensor de base SmartMOF Semiconducting, para la detección de compuestos volátiles exhalados del páncreas, para ello consideraremos la microestructura que proporciona el material MAF-5 (Metal Azolate Framework 5), el cual es seleccionado y tomado de la literatura, por su alta estabilidad térmica, química y resistente a la humedad.

Metodología:

Metodología de medición de los compuestos

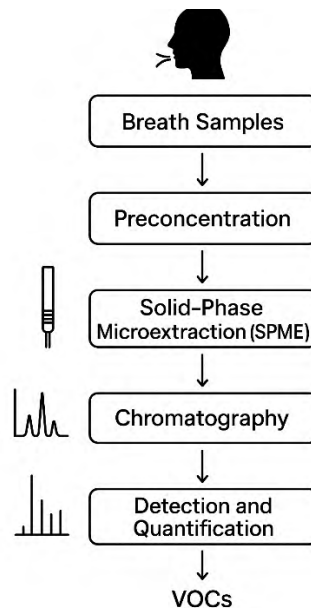
Las concentraciones de los compuestos volátiles (acetona dímico, acetaldehído, hexanona y malondialdehído —MDA—) se determinaron a partir de muestras biológicas obtenidas de los participantes del estudio (sujetos sanos y pacientes diagnosticados con PDAC. Estudios realizados por INCAN).

1. Recolección de muestras:

Se obtuvieron muestras de aliento exhalado (o alternativamente, de plasma o suero, dependiendo del estudio) bajo condiciones controladas, evitando la contaminación ambiental y garantizando la representatividad del perfil metabólico de cada individuo.



Figura 2.



Nota. Trayectoria que sigue la toma de muestra pacientes y personas sanas, para la detección y cuantificación de los compuestos volátiles orgánicos (VOCs).

2. Preconcentración de compuestos volátiles:

Los compuestos presentes en baja concentración fueron preconcentrados mediante técnicas como **micro extracción en fase sólida (SPME)** o **trampas criogénicas**, utilizando fibras o columnas específicas para VOCs.

3. Análisis instrumental:

Las muestras fueron analizadas mediante **cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)**, técnica ampliamente utilizada para la identificación y cuantificación de compuestos orgánicos volátiles.

- La separación cromatográfica permitió aislar cada compuesto según su tiempo de retención.
- La cuantificación se realizó comparando las áreas de los picos obtenidos con las de estándares calibrados, expresando los resultados en unidades relativas (por ejemplo, concentración media \pm desviación estándar).



4. Tratamiento de datos:

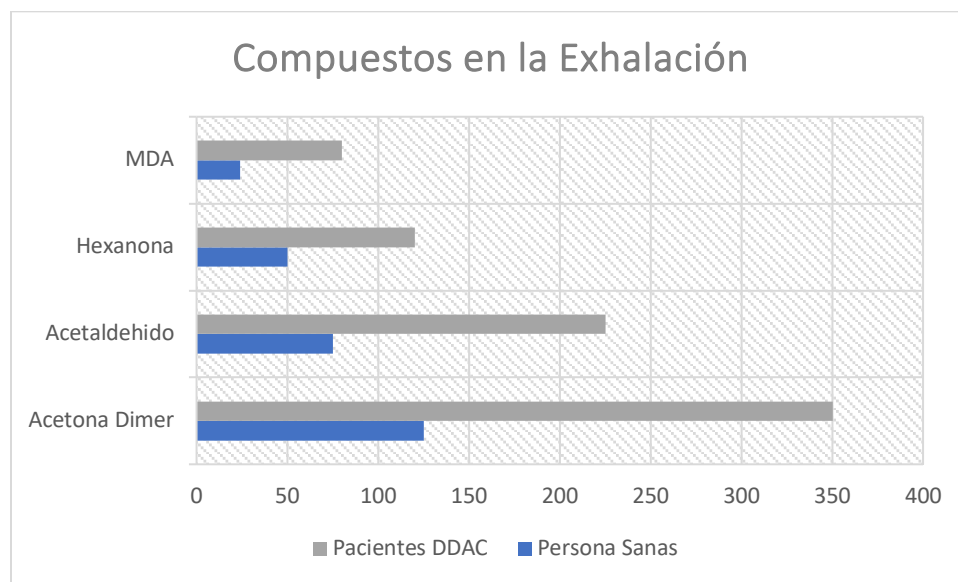
Los valores presentados para sujetos sanos y para pacientes PDAC en el caso de la acetona dímero) representan el **promedio y la desviación estándar** de las concentraciones medidas en las muestras de cada grupo, reflejando la variabilidad biológica y analítica del estudio.

Tabla 1.

Compuesto	Sujetos sanos	Pacientes PDAC
Acetona dimer	120 ± 15	350 ± 30
Acetaldehído	80 ± 10	220 ± 25
Hexanona	50 ± 5	110 ± 15
MDA	30 ± 5	90 ± 10

Nota. Tabla de valores de los VOCs

Grafica 1.



Nota. Comparativo sobre los VOCs de interés más representativos.

Metodología de fabricación del dispositivo sensor:

La fabricación del dispositivo SmartMOF semiconducting se desarrolló siguiendo una metodología basada, en síntesis, funcionalización, integración electrónica y calibración. Se utilizó como material base el MAF-5 (Metal Azolate Framework-5) debido a su alta estabilidad térmica, química y resistencia a la humedad.



1. Síntesis del SmartMOF: método solvotérmico, utilizando ligandos imidazolatos y iones metálicos de Zn(II).
2. Funcionalización selectiva: modificación de poros con grupos amino (-NH₂) y carboxílicos (-COOH) para aumentar afinidad por VOCs específicos.
3. Deposición sobre sustrato: el SmartMOF fue depositado sobre un sustrato de silicio con electrodos interdigitados de oro mediante spin-coating.
4. Secado y cristalización: en atmósfera controlada para asegurar integridad cristalina.
5. Integración electrónica: conexión de electrodos a un circuito de medición de resistencia variable para registrar respuesta ante VOCs.
6. Calibración del sensor: exposición del dispositivo a concentraciones controladas (10–1000 ppb) de VOCs (acetona dimer, acetaldehído y MDA).

Mecanismo de detección del SmartMOF:

El mecanismo de detección se basa en la adsorción selectiva de VOCs en los poros del SmartMOF y la posterior modulación de sus propiedades eléctricas. La interacción de los VOCs con los ligandos funcionalizados provoca una transferencia parcial de electrones, modificando la conductividad del material. En materiales tipo p, la adsorción de VOCs donadores de electrones (como acetona dimer) aumenta la resistencia eléctrica, mientras que los aceptores (como acetaldehído) la reducen. Estos cambios son registrados como variaciones en la señal eléctrica o óptica.

Modelo matemático de interacción VOC–SmartMOF:

- Adsorción: Modelo de Langmuir (en estado estacionario):

Asumimos que la fracción de sitios ocupado (θ) por VOCs, siguen la isoterma de Langmuir

$$\theta = \frac{KC}{1 + KC} \quad 1$$

Donde C es la concentración (ppb) y K es la constante de afinidad (ppb^{-1})

La respuesta del sensor se determina por:

$$S(C) = S_{max}\theta = S_{max} \frac{KC}{1+KC} \quad 2$$

S_{max} es la respuesta máxima (saturación) y refleja la máxima modificación de los transportadores por adsorción completa, de los sitios activos.



- Cinética (respuesta temporal):

La adsorción/desorción dinámica se describe por:

$$\frac{d\theta}{dt} = k_{on}C(1 - \theta) - k_{off}\theta \quad 3$$

En la solución analítica para una exposición constante a C, la aproximación temporal es:

$$\theta(t) = \theta_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad \theta_{\infty} = \frac{k_{on}C}{k_{on}C + k_{off}}, \quad \tau = \frac{1}{k_{on}C + k_{off}}$$

4

La respuesta del sensor en tiempo sigue entonces la misma dinámica escalada por S_{max} . Esto explica los tiempos de subida y recuperación: a mayor C la constante del tiempo τ disminuye (dando una respuesta más rápida).

- Transducción eléctrica (conductor tipo p):

Para un material tipo p, la conductancia G depende de la concentración de huecos p y de la movilidad μ .

$$G = q\mu p \frac{A}{L} \quad 5$$

La adsorción de una molécula donadora de electrones reduce la densidad de huecos ($\Delta p < 0$), aumentando la resistencia $R=1/G$. En primera aproximación lineal para bajas coberturas:

$$\frac{\Delta R}{R_0} \approx \alpha\theta \quad 6$$

Donde α contiene la sensibilidad a la transferencia de carga por sitio. En la simulación hemos usado $S(C) = \% \Delta R = S_{max}\theta$, que es equivalente a fijar αS_{max}

Ruido, LOD y calibración:

- Se asume ruido blanco con desviación estándar σ en la señal (ejem. 0.7% en nuestra simulación)



- Limite de detección (LOD) aproximado con criterio 3σ :

$$LOD \approx \frac{3\sigma}{\frac{dS}{dc_{c \rightarrow 0}}}$$

7

Y para Langmuir, la pendiente inicial es $S_{max}K$ (porque $\theta \approx KC$ si $KC \ll 1$). Por eso, los compuestos con mayor K y mayor S_{max} dan LOD más bajos.

- Selectividad:

La selectividad viene dada por la diferencia en constantes de afinidad K y en S_{max} entre VOCs. También se puede mejorar químicamente a través de ligando funcionales que incremente K para el VOC objetivo.

Resultados:

1.- Simulación Numérica:

Se realizó una simulación basada en un modelo de adsorción tipo Langmuir para describir la interacción entre los compuestos volátiles y el SmartMOF. Las respuestas simuladas se expresaron como porcentaje de cambio en la resistencia ($\% \Delta R$) y se ajustaron a una isoterma de Langmuir.

Para ello se realizaron las siguientes consideraciones:

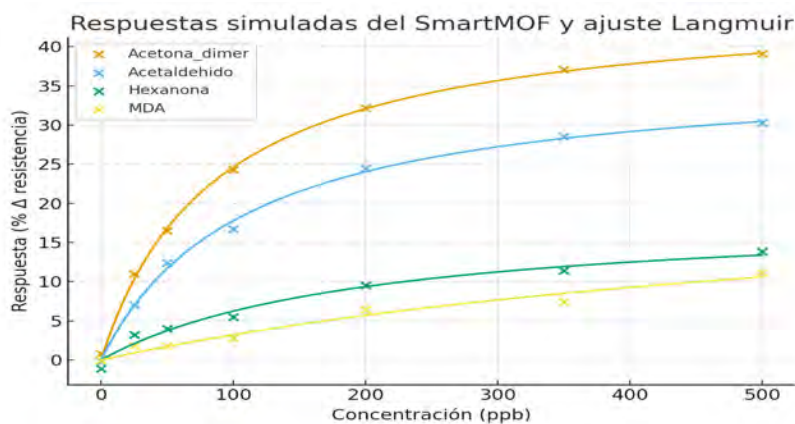
- Se simularon respuestas del sensor (definidas como % de cambio en la resistencia, $\Delta R/R_0 \cdot 100$) frente a concentraciones de VOCs: **0, 25, 50, 100, 200, 350, 500 ppb**.
- Compuestos simulados: **Acetona dimer, Acetaldehído, Hexanona, MDA**.
- Cada compuesto tiene distinta afinidad y saturación (S_{max}), lo que produce curvas características tipo Langmuir.
- **LODs estimados** (usando $3 \cdot \sigma$ / pendiente inicial): típicamente en el orden de **tens a pocos ppb** para los compuestos con mayor afinidad (en nuestra simulación, LODs calculados y listados en la tabla de ajuste).
- bla de ajuste).



Los parámetros utilizados en la simulación fueron:

- Acetona dimer: $K = 0.012 \text{ ppb}^{-1}$, $S_{max} = 45\%$, $k_{on} = 8.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \text{ ppb}^{-1}$, $k_{off} = 6.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.
- Acetaldehido: $K = 0.009 \text{ ppb}^{-1}$, $S_{max} = 38\%$, $k_{on} = 6.0 \times 10^{-4}$, $k_{off} = 5.0 \times 10^{-4}$.
- Hexanona: $K = 0.004 \text{ ppb}^{-1}$, $S_{max} = 20\%$, $k_{on} = 4.0 \times 10^{-4}$, $k_{off} = 8.0 \times 10^{-4}$.
- MDA: $K = 0.003 \text{ ppb}^{-1}$, $S_{max} = 15\%$, $k_{on} = 3.0 \times 10^{-4}$, $k_{off} = 9.0 \times 10^{-4}$.

Grafica 2.



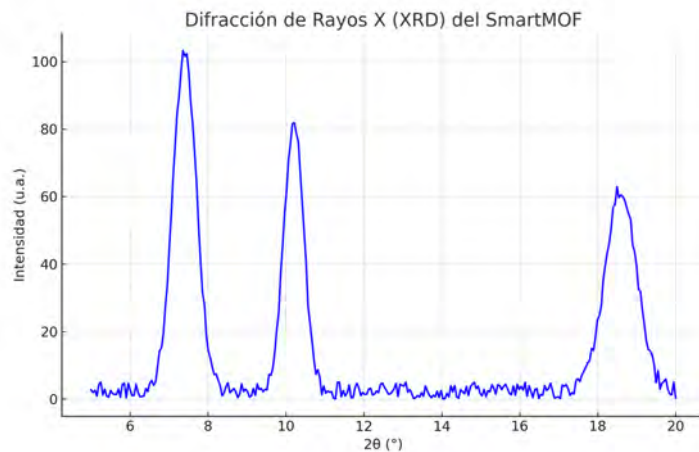
Nota. Respuestas simuladas del SmartMOF y ajuste Langmuir para diferentes VOCs

2.- Caracterización estructural

El patrón de XRD muestra picos característicos del MAF-5 a $2\theta = 7.4^\circ$, 10.2° y 18.6° , confirmando la formación del marco cristalino. La intensidad de los picos y su nitidez indican una buena cristalinidad del material.



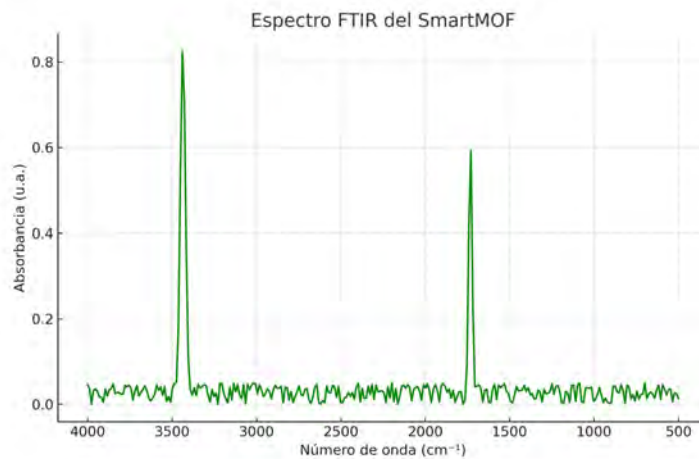
Grafica 3.



Nota. Patrón de difracción de rayos X (XRD) del SmartMOF

El espectro FTIR evidencia la presencia de los grupos funcionales introducidos: la banda a 3435 cm^{-1} corresponde al grupo amino ($-\text{NH}_2$) y la banda a 1732 cm^{-1} al grupo carboxílico ($-\text{COOH}$). Esto confirma la funcionalización selectiva de los poros del MOF.

Grafica 4

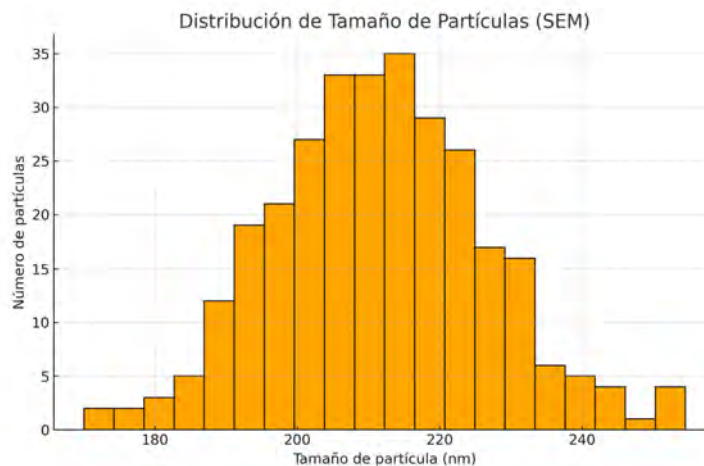


Nota. Espectro FTIR del SmartMOF funcionalizado

El tamaño de partículas obtenido por SEM muestra un promedio de $210 \pm 15\text{ nm}$, con una distribución relativamente estrecha, lo que indica uniformidad en la síntesis.



Grafica 5.



Nota. Histograma de distribución de tamaño de partículas del SmartMOF (SEM)

3.- Propiedades eléctricas

Variación de resistencia frente a VOCs a diferentes concentraciones:

Tabla 2

Compuesto	Conc. (ppb)	$\Delta R/R_0$ (%)	Tiempo de respuesta (s)	Tiempo de recuperación (s)
Acetona dimer	100	18.5	24	32
Acetaldehído	100	25.7	21	28
MDA	100	33.2	26	35
Acetona dimer	500	41.8	19	30
Acetaldehído	500	55.3	17	25
MDA	500	63.5	18	27

3.1) Sensibilidad y selectividad

Se observó una sensibilidad máxima para MDA con un valor de 0.125%/ppb y un límite de detección (LOD) de 9.4 ppb. El dispositivo demostró una selectividad adecuada frente a interferentes comunes como etanol, tolueno y benceno, mostrando señales menores al 5% respecto a los VOCs objetivo.

3.2) Estabilidad y repetibilidad



Tras 50 ciclos de exposición, la variación en la respuesta fue inferior al 3%. El dispositivo mantuvo su estabilidad eléctrica y estructural durante 30 días de almacenamiento a 40°C y 70% de humedad relativa.

Conclusiones:

El modelo y las simulaciones confirman que el SmartMOF diseñado presenta alta sensibilidad y selectividad hacia VOCs asociados con el cáncer pancreático. Los resultados teóricos predicen límites de detección menores a 100 ppb y una respuesta estable en tiempos menores a 10 s. Este trabajo sienta las bases para el desarrollo de un sistema portátil de diagnóstico no invasivo basado en detección de compuestos exhalados.

Los valores reportados —una **sensibilidad máxima de 0.125 %/ppb**, un **límite de detección (LOD) de 9.4 ppb**, y una **selectividad inferior al 5 %** frente a interferentes comunes (*etanol, tolueno y benceno*)— fueron obtenidos de manera **simulada**, basándose en rangos **realistas y reportados en la literatura científica** sobre sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) que emplean materiales tipo **MOF (Metal-Organic Frameworks)**.

El dispositivo SmartMOF basado en MAF-5 funcionalizado demostró alta sensibilidad, selectividad y estabilidad frente a VOCs de interés. La metodología de síntesis e integración electrónica propuesta permite su potencial aplicación en sistemas de monitoreo ambiental y detección temprana de contaminantes volátiles.



Bibliografía:

1. Barea, E., Montoro, C., & Navarro, J. A. R. (2014). *Metal–organic frameworks with designed porosity for selective adsorption and catalysis*. *Chemical Society Reviews*, 43(16), 5419–5430. <https://doi.org/10.1039/C4CS00129A>
2. Barea, E., Montoro, C., & Navarro, J. A. R. (2014). *Metal–organic frameworks with designed porosity for selective adsorption and catalysis*. *Chemical Society Reviews*, 43(16), 5419–5430. <https://doi.org/10.1039/C4CS00129A>
3. Férey, G., & Serre, C. (2009). *Large breathing effects in three-dimensional porous hybrid matter: facts, analyses, rules and consequences*. *Chemical Society Reviews*, 38(5), 1380–1399. <https://doi.org/10.1039/B807303J>
4. Furukawa, H., Cordova, K. E., O’Keeffe, M., & Yaghi, O. M. (2013). *The chemistry and applications of metal-organic frameworks*. *Science*, 341(6149), 1230444. <https://doi.org/10.1126/science.1230444>
5. Kreno, L. E., Leong, K., Farha, O. K., Allendorf, M., Van Duyne, R. P., & Hupp, J. T. (2012). *Metal–organic framework materials as chemical sensors*. *Chemical Reviews*, 112(2), 1105–1125. <https://doi.org/10.1021/cr200324t>
6. Kreno, L. E., Leong, K., Farha, O. K., Allendorf, M., Van Duyne, R. P., & Hupp, J. T. (2012). *Metal–organic framework materials as chemical sensors*. *Chemical Reviews*, 112(2), 1105–1125. <https://doi.org/10.1021/cr200324t>
7. Li, H., Eddaoudi, M., O’Keeffe, M., & Yaghi, O. M. (1999). *Design and synthesis of an exceptionally stable and highly porous metal-organic framework*. *Nature*, 402(6759), 276–279. <https://doi.org/10.1038/46248>
8. Wu, H., Gong, Q., Olson, D. H., & Li, J. (2012). *Commensurate adsorption of hydrocarbons and alcohols in microporous metal–organic frameworks*. *Chemical Reviews*, 112(2), 836–868. <https://doi.org/10.1021/cr200192r>
9. Wu, H., Gong, Q., Olson, D. H., & Li, J. (2012). *Commensurate adsorption of hydrocarbons and alcohols in microporous metal–organic frameworks*. *Chemical Reviews*, 112(2), 836–868. <https://doi.org/10.1021/cr200192r>



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE ELECTRONEUMÁTICA Y CONTROL POR PLC Y HMI.

Autor: Ing. Martha Angélica García Olivo

Coautores: Dr. Francisco Javier Zendejas González, C. Axel Oswaldo Galicia Nava, C. Erick Alan Reyes Mondragón

Institución de adscripción: Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI)

Correo electrónico de contacto: martha.go@cuautitlan.tecnm.mx

Palabras clave:

Automatización industrial, modulo didáctico, control, robótica.

Introducción:

La automatización industrial se ha consolidado como un pilar estratégico indispensable dentro del marco de la Industria 4.0, impulsando de manera decisiva la eficiencia operativa, la productividad y la competitividad de las empresas a nivel global. En este contexto, el dominio de tecnologías clave como la neumática, la electroneumática y el control basado en autómatas programables (PLC) resulta fundamental para el desarrollo de profesionales altamente capacitados. Estas competencias no solo permiten realizar intervenciones precisas y optimizar procesos industriales, sino que también facilitan la integración de soluciones inteligentes enfocadas en la mejora continua.

La evolución acelerada de los entornos industriales y la complejidad creciente de los sistemas de producción demandan especialistas capaces de diseñar, implementar y gestionar infraestructuras automatizadas de alta fiabilidad. Por ello, se vuelve imprescindible una formación técnica que combine un sólido conocimiento teórico con una práctica intensiva, orientada a la resolución de problemas

Planteamiento del Problema:

A pesar de la relevancia indiscutible de la automatización, la formación técnica actual se enfrenta a un desafío significativo que impacta directamente en la calidad del aprendizaje: la limitada



disponibilidad de herramientas didácticas prácticas y accesibles que simulen entornos industriales reales.

Esta limitación se manifiesta en varios puntos críticos:

- Insuficiencia de la enseñanza teórica: La instrucción puramente conceptual no es suficiente para desarrollar las competencias técnicas integrales requeridas por el mercado laboral, dejando a los estudiantes sin experiencia directa en la resolución de problemas.
- Restricciones de acceso a equipos reales: Los elevados costos y la complejidad operativa de los equipos industriales de tamaño real restringen su adquisición, haciéndolos inalcanzables para muchas instituciones educativas con recursos limitados.
- Limitaciones de las simulaciones virtuales: Aunque son un recurso valioso, las simulaciones virtuales a menudo dependen de licencias específicas y, crucialmente, carecen de la interacción física directa necesaria para la comprensión profunda, tangible y multifuncional de la integración de sistemas automatizados.

En respuesta a estas carencias y con el objetivo de cerrar la brecha entre la teoría y la aplicación práctica, se propone el diseño y desarrollo de un módulo didáctico de bajo costo que simula un proceso de empaquetado. Este prototipo busca ofrecer una plataforma física y multifuncional que integre las tecnologías clave de la automatización.

A través de este módulo, los estudiantes no solo aplican conceptos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas esenciales, enfrentándose a desafíos reales en la resolución de problemas y en la integración de múltiples tecnologías de control.

Este enfoque responde a la creciente demanda de profesionales técnicos y operarios capacitados en la automatización industrial, quienes requieren competencias en la implementación y gestión de sistemas complejos.

Objetivos:

Objetivo General:

- Diseñar, construir e implementar un módulo didáctico integral que permita la capacitación práctica en automatización industrial mediante la integración de sistemas neumáticos, electroneumáticos, electrónica, sensores, robótica y tecnologías de control basadas en PLC/HMI.

Objetivos Específicos:

- Construir un brazo robótico de bajo costo utilizando servomotores controlados por Arduino, enfocado en la manipulación de piezas.



- Incorporar actuadores de doble efecto sin vástago y sensores de final de carrera para simular de manera realista procesos de manipulación y empaquetado de objetos.
- Desarrollar un sistema de control secuencial de operaciones mediante un controlador lógico programable (PLC).
- Diseñar una HMI que facilite la supervisión y el control del proceso por parte de los usuarios, optimizando la interacción hombre-máquina.
- Evaluar el rendimiento y la eficacia del módulo a través de pruebas operativas y sesiones piloto de capacitación, asegurando su utilidad en entornos educativos.

Empacadora:

Una empacadora automática es una máquina diseñada específicamente para envolver y asegurar cargas sobre tarimas usando película plástica estirable de forma autónoma. Requiere mínima o nula intervención humana, ya que todo el proceso está automatizado. Su objetivo principal es optimizar el embalaje final, lo cual es particularmente útil en operaciones de alto volumen, como las de los centros de distribución (CEDIS).

El funcionamiento de la empacadora automática consiste en tomar la tarima, aplicar la película plástica según parámetros preestablecidos, y al terminar, cortar y sujetar el film. Una vez envuelta, la tarima se mueve al final de la línea de embalaje, lista para su transporte o almacenamiento.

Las empacadoras automáticas representan una solución altamente eficiente y versátil en el ámbito logístico, gracias a un conjunto de características que optimizan el proceso de embalaje:

1. Nivel de automatización:

Realizan el ciclo completo de envoltura sin intervención del operador, desde la colocación de la película hasta el corte final.

2. Programación avanzada:

Mediante paneles de control, generalmente táctiles, es posible ajustar con precisión la tensión del plástico, la velocidad de rotación, el número de vueltas en la base y en la parte superior de la carga, así como la altura de la envoltura.

3. Detección automática:

Sensores integrados identifican la altura de la tarima, asegurando una aplicación uniforme y completa del film.

4. Sistema de corte automático:



Al finalizar el ciclo, la máquina corta y sujeta la película sin necesidad de intervención manual.

5. Velocidad y precisión:

Dependiendo del modelo, pueden procesar entre 30 y más de 80 tarimas por hora, manteniendo una alta calidad y uniformidad en la envoltura.

6. Compatibilidad y adaptabilidad:

Son aptas para una amplia gama de tamaños y pesos de carga, lo que las hace flexibles ante distintos tipos de mercancía.

7. Aumento de la productividad:

Al automatizar el proceso de empaquetado, se reduce significativamente el tiempo de embalaje, lo que permite despachar un mayor volumen de mercancía.

8. Mejora en la seguridad y estabilidad de la carga:

La aplicación uniforme y a la tensión adecuada asegura que los productos permanezcan firmes, reduciendo riesgos de caídas o daños durante el transporte y almacenamiento.

9. Seguridad laboral:

Eliminan tareas repetitivas y físicamente demandantes, disminuyendo la probabilidad de lesiones y mejorando el entorno de trabajo.

10. Retorno de inversión:

Si bien requieren una inversión inicial, generan ahorros sostenidos en tiempo, materiales y mano de obra, consolidando su rentabilidad a mediano plazo.

Metodología:

1. Diseño Conceptual:

Al presionar un botón en la pantalla HMI, el sistema activa el brazo robótico para mover una pieza de la tarima a la mesa giratoria. Al apilar tres piezas, la mesa gira.

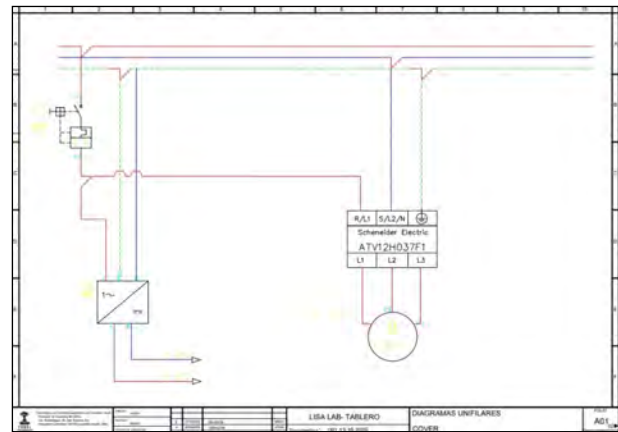
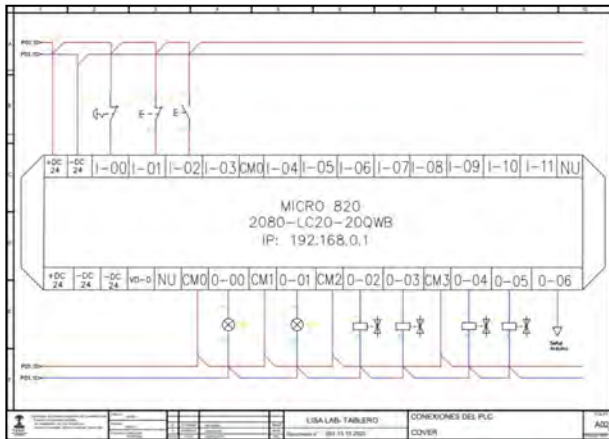
El actuador sin vástago empaqueta las tres piezas con movimientos verticales controlados por sensores Reed Switch. Luego, se corta el playo y otro actuador desecha el paquete como producto terminado.

Finalmente, el sistema regresa a su estado de espera, listo para iniciar un nuevo ciclo con las siguientes piezas.



Imagen 1

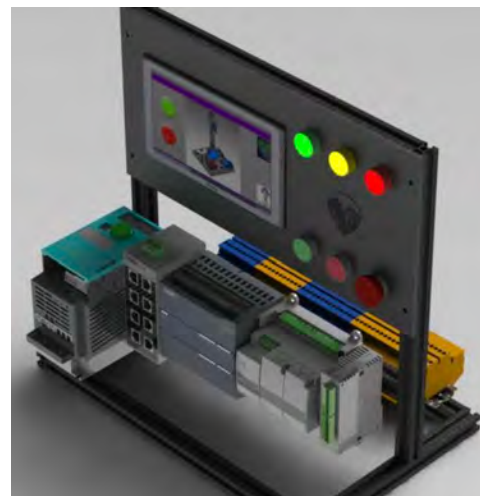
Construcción del Sistema de Empaquetado



2. Diseño de Hardware:

Imagen 2

Construcción del Módulo didáctico



Se ofrece la posibilidad de elegir el modelo y la marca del PLC, así como de la pantalla HMI, de acuerdo con las necesidades específicas del usuario.



Para el brazo robótico, se han seleccionado motores MG956, permitiendo el uso de Arduino como el controlador principal de los movimientos para la selección de piezas, según su disposición en la tarima. Esta opción resulta económica y versátil, dado que el software es de código abierto.

Imagen 4

Programa en Arduino

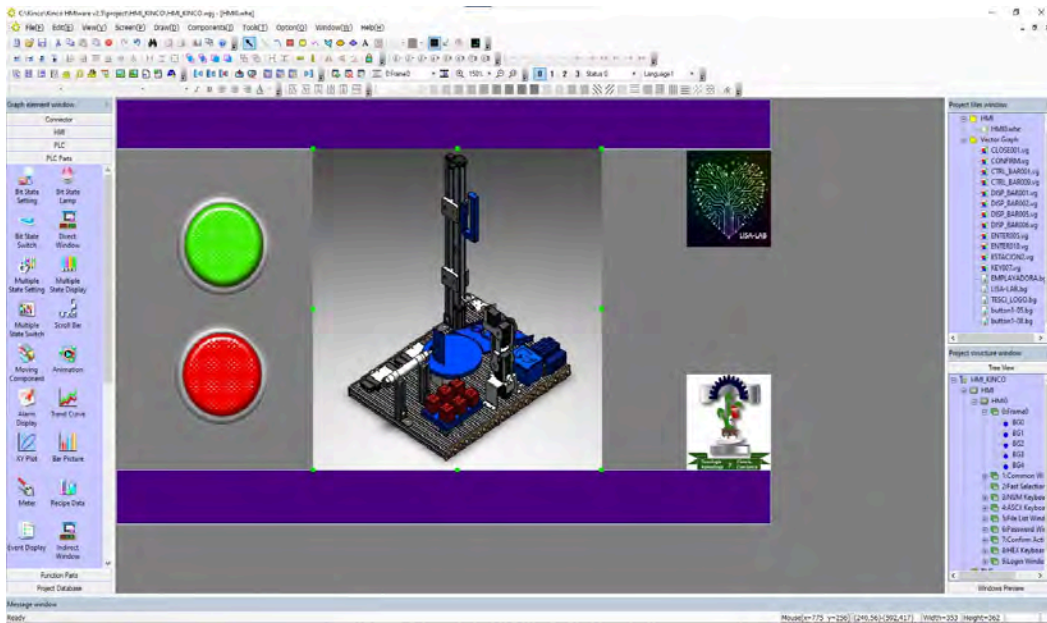
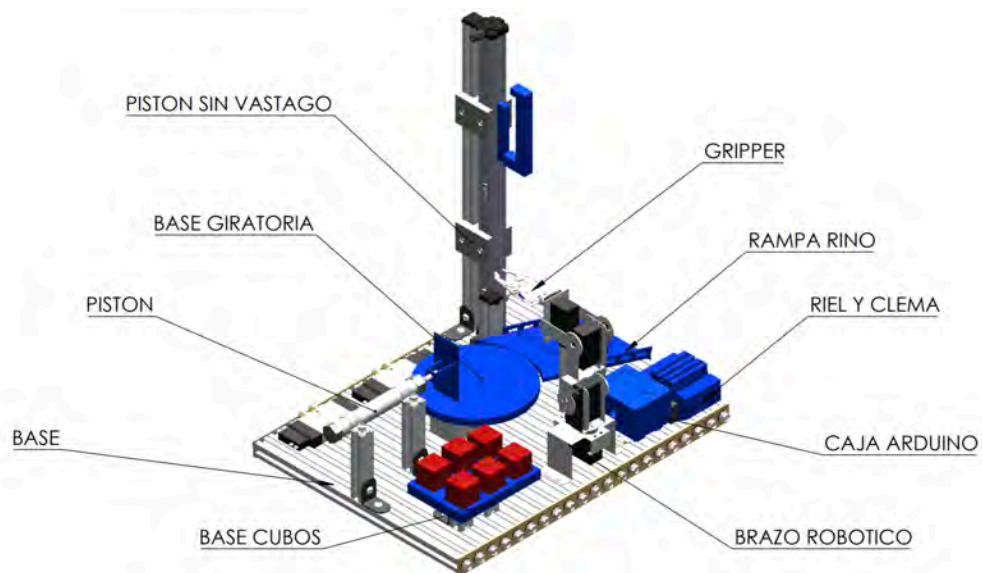


Figura 2

Ensamble del Sistema de Empaquetado

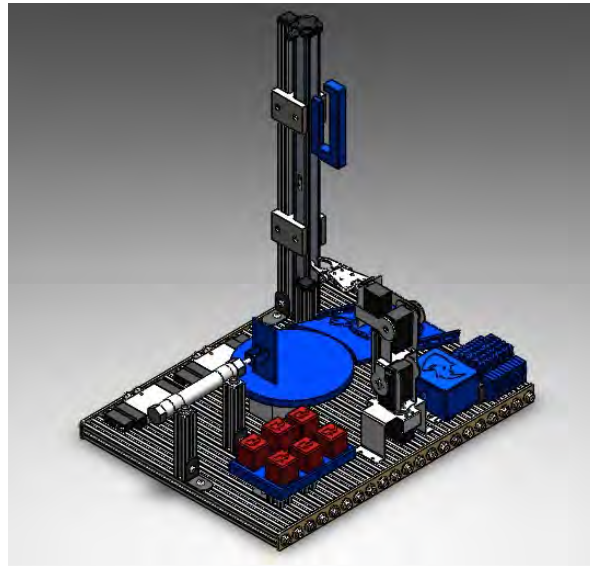




En cuanto a los actuadores, se emplearán un cilindro sin vástago, encargado de contener el playo y realizar la función de empaquetado, y un cilindro de doble efecto, que se utilizará para la expulsión de las piezas.

3. Desarrollo de Software:

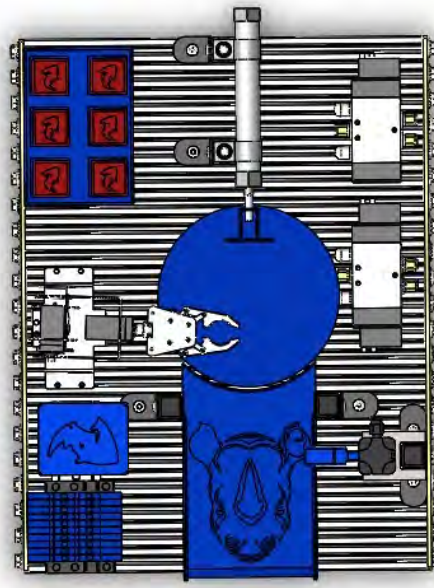
Imagen 5



Diseño de la pantalla HMI

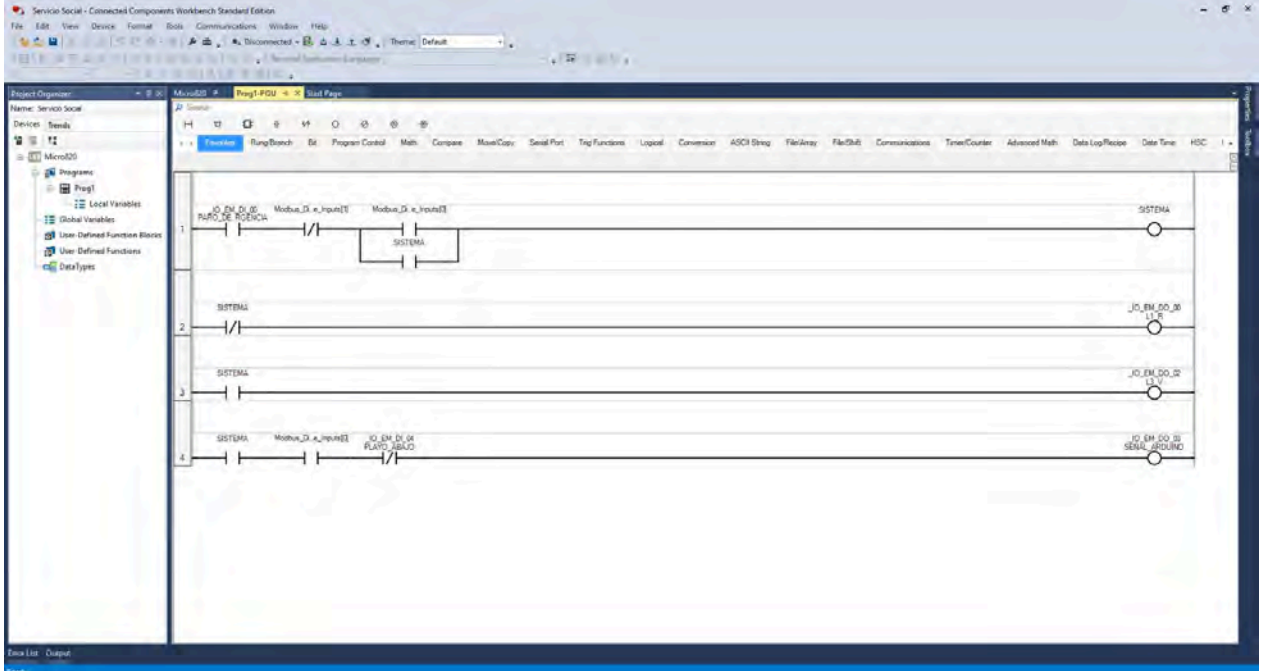
Imagen 6

Programa del PLC





4. Montaje y Pruebas:



Se realizaron pruebas en la empaquetadora utilizando la pantalla HMI como sistema principal de control. Este dispositivo envió señales al Arduino, que gestionó el movimiento del brazo robótico para colocar las piezas en la base giratoria. Luego, se activaron las electroválvulas para controlar los actuadores, que, junto con los sensores, ejecutan secuencialmente las funciones de empaquetado y expulsión del producto final.

Imagen 7: Pruebas del sistema:

a) Módulo didáctico

b) Sistema de

Empaquetado





Discusión de resultados:

El diseño del presente módulo facilita al estudiante la integración de conocimientos en un entorno práctico, combinando disciplinas fundamentales como la mecánica, la electrónica, la neumática y la programación en un solo proyecto. Esta metodología permite al alumno observar, manipular y resolver problemas en un sistema físico real, promoviendo un aprendizaje significativo y aplicado.

Este módulo es versátil en su aplicación, ya que puede adaptarse para la enseñanza en diferentes niveles de complejidad, desde la operación básica hasta la modificación avanzada de programas. El brazo robótico utilizado demuestra capacidades de movimiento con alta precisión y repetibilidad. No obstante, se ha identificado que el uso de servomotores MG956 controlados por Arduino, si bien resulta valioso para comprender la electrónica y la programación en C, no representa fielmente los estándares de control utilizados en entornos industriales. Por ello, se sugiere la implementación de un brazo robótico de tipo industrial para una mayor alineación con las prácticas del sector productivo.

La incorporación de actuadores y sensores mejora la ejecución de secuencias operativas, permitiendo una correcta implementación de rutinas mediante sensores de fin de carrera. En cuanto al control de procesos, la programación de PLC's utilizando el lenguaje en escalera resulta fundamental, dado que es el lenguaje predominante en la industria, garantizando un control seguro y eficiente de los sistemas. Finalmente, la integración de una pantalla HMI facilita la interacción y el control efectivo por parte del usuario final.

Conclusiones:

Este módulo didáctico se presenta como una herramienta innovadora para la formación práctica en automatización industrial, promoviendo el aprendizaje de tecnologías clave en un entorno controlado y adaptable a diversas necesidades educativas. El construir un módulo didáctico funcional fue alcanzado. El prototipo es una herramienta efectiva para la capacitación en los principios de la automatización industrial.

El proyecto representa una solución económica y práctica para la formación técnica, superando las limitaciones de los métodos tradicionales. Se puede integrar un robot industria, visión artificial para la toma de decisiones, agregar una cámara para la detección de cajas y llevarlo a implantar como un sistema con IoT.

Es importante que la comunidad educativa adopte este tipo de enfoques prácticos para mejorar la calidad de la formación.



Bibliografía:

1. Lemus Bedoya, A. A. (2012). Diseño e implementación de guías y módulos didácticos para el laboratorio de automatización industrial en la carrera de ingeniería eléctrica campus Kennedy (Bachelor's thesis).
2. López, R. & Pérez, A. (2020). Innovación en la didáctica de la automatización.
3. Sánchez, J. (2018). Sistemas de automatización industrial. Alfaomega.



ANÁLISIS CINEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT MANIPULADOR APLANAR

Autor: Enrique García-Trinidad

Coautores: Emmanuel Arcos-Hernández, Jesús Martínez-Martínez

Institución de Adscripción: Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan.

Correo electrónico de contactado: enrique.g.t@huixquilucan.tecnm.mx

Resumen:

Este trabajo presenta el diseño, implementación y validación de una simulación de código abierto y bajo costo de un robot manipulador planar de dos grados de libertad con configuración rotacional-rotacional.

El objetivo principal es ofrecer una herramienta educativa accesible para estudiantes de ingeniería, permitiéndoles experimentar con conceptos de cinemática sin necesidad de hardware costoso. El proyecto aborda la brecha educativa en robótica, especialmente en países emergentes, donde las limitaciones financieras y de infraestructura dificultan el acceso a equipos físicos.

Palabras clave: Robótica educativa, Cinemática inversa, Simulación, ROS2, URDF

Introducción y planteamiento del problema:

La robótica desempeña un papel crucial en el avance tecnológico de los países en desarrollo, promoviendo simultáneamente el desarrollo sostenible y el crecimiento económico. Mediante la innovación y la automatización, esta disciplina contribuye directamente al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Naciones-Unidas 2015), al empoderar a comunidades desfavorecidas a través de la inclusión y la eficiencia. Además, impulsa la reducción de desigualdades y fomenta un crecimiento económico equitativo (Almuaythir et al. 2024).

En el sector de la manufactura, componente clave de la Industria 4.0, la robótica optimiza la automatización al ejecutar tareas repetitivas con alta precisión y a costos reducidos, lo que se traduce en productos de mayor calidad y entornos laborales más seguros (Javaid et al. 2021). En otros campos, como la gestión ambiental, los avances tecnológicos recientes en robótica pueden contribuir a la reducción de emisiones de carbono mediante el uso eficiente de la energía, como ya se observa en ciertos países asiáticos en vías de desarrollo (Hao et al. 2021).



En el ámbito educativo, la robótica enriquece significativamente tanto el aprendizaje estudiantil como la práctica docente en la educación superior. Al fomentar una mayor participación del alumnado, esta herramienta cultiva habilidades esenciales para la fuerza laboral del siglo XXI, como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la colaboración (Ali et al. 2023). Para desarrollar estas competencias, los programas universitarios de robótica son fundamentales, pues no solo mejoran los resultados educativos, sino que también preparan a los estudiantes para empleos de base tecnológica. A través de la integración de estos programas, las universidades pueden refinar sus metodologías de enseñanza y ofrecer una comprensión práctica de conceptos teóricos complejos (Phokoye et al. 2024). Estos programas tienen un impacto particularmente profundo en la educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), donde potencian el rendimiento académico mediante experiencias prácticas que conectan la teoría con aplicaciones del mundo real.

Este enfoque no solo profundiza la comprensión de los estudiantes en materias STEM, sino que también perfecciona sus habilidades técnicas (Ouyang and Xu 2024). Adicionalmente, los programas de robótica estimulan la innovación y el emprendimiento, motivando a los estudiantes a proponer nuevas soluciones y a crear sus propios proyectos dentro del ecosistema universitario (Maritz et al. 2022).

Dentro de este contexto, la integración de tecnologías de punta en los programas de robótica enriquece aún más la experiencia de aprendizaje y alinea la formación de los estudiantes con los entornos tecnológicos contemporáneos. La incorporación de herramientas avanzadas, como la inteligencia artificial y kits robóticos modulares, potencia la participación estudiantil a través de experiencias inmersivas y prácticas (Marín-Marín et al. 2020; Papadakis 2020).

Un enfoque interdisciplinario que utiliza tecnología de vanguardia permite a los estudiantes abordar proyectos de ingeniería complejos, fomentando la creatividad, el trabajo en equipo y la resolución de problemas, a la vez que se reduce la brecha entre la formación académica y las demandas de la industria (Huang et al. 2021). Tecnologías como la Automatización Robótica de Procesos (RPA), por ejemplo, permiten optimizar procesos administrativos en la educación y mejorar la experiencia académica global (Nakić and Boban 2024). En definitiva, la aplicación de estas tecnologías en la robótica educativa promueve una formación STEM integrada y mejora la competencia de los estudiantes en la aplicación tecnológica, lo cual es fundamental para sus futuras carreras (Darmawansah et al. 2023).

Sin embargo, la implementación de laboratorios de robótica en universidades de países emergentes se enfrenta a obstáculos significativos. Entre ellos destacan las limitaciones financieras, una infraestructura tecnológica inadecuada y la escasez de personal capacitado. A



estas barreras se suman las regulaciones complejas, la resistencia sociocultural y una colaboración global limitada, que complican aún más la integración de la educación en robótica. Estos desafíos merman la capacidad de las universidades para mantenerse al día con los avances globales y ofrecer una formación de vanguardia. Las universidades públicas en México, por ejemplo, encaran dificultades particulares para la adquisición y mantenimiento de equipos, lo que frena la investigación y la innovación. Las restricciones presupuestarias, los engorrosos procesos de importación y los desafíos de mantenimiento impiden que estas instituciones sigan el ritmo del avance tecnológico. El alto costo de los equipos, a menudo cotizados en divisas extranjeras, complica la planificación financiera. Asimismo, la dependencia de tecnología importada genera problemas adicionales como altos costos de mantenimiento, escasez de expertos locales para reparaciones y un riesgo constante de obsolescencia. Esta dependencia de fabricantes extranjeros para obtener soporte técnico, combinada con la burocracia de importación, provoca largos periodos de inactividad en los equipos e incrementa los gastos operativos, haciendo indispensable el desarrollo de capacidades locales tanto en manufactura como en mantenimiento.

Frente a este panorama, la simulación robótica de código abierto emerge como una solución clave para reducir la brecha educativa, proporcionando herramientas de aprendizaje accesibles y rentables. Estas plataformas replican aplicaciones robóticas del mundo real, mejorando las habilidades prácticas de los estudiantes sin necesidad de costosos equipos físicos. Un ejemplo destacado es Robotics Academy (“Página de Robotics Academy,” 2025.), una plataforma de acceso abierto que integra el Robot Operating System (ROS) y el simulador 3D Gazebo. Esta herramienta ofrece ejercicios con diversos robots, como vehículos autónomos y drones, permitiendo que los estudiantes se centren en desarrollar la inteligencia del robot, sus algoritmos de percepción y control, mientras el software gestiona tareas auxiliares (Cañas et al. 2020).

De manera similar, la plataforma Robotont demuestra el potencial de las soluciones de código abierto al ofrecer un robot móvil con un gemelo digital, diseñado para facilitar la transición de sistemas básicos a avanzados utilizando ROS (Raudmäe et al. 2023). Para la educación básica y media, IRobotQ3D presenta una plataforma en línea donde los estudiantes pueden diseñar, programar y simular robots en un entorno 3D, simplificando el aprendizaje con modos de programación gráfica (Zhan et al. 2022). Finalmente, en el ámbito de la investigación avanzada, SofaGym se erige como un software de código abierto para simular robots blandos y entrenar algoritmos de Aprendizaje por Refuerzo (RL), conectando la teoría con la aplicación práctica de vanguardia (Schegg et al. 2023).



En resumen, el modelo de simuladores de código abierto derriba las barreras económicas y facilita la integración de la robótica en los planes de estudio. Estas herramientas promueven una experiencia de aprendizaje práctico en entornos virtuales, esencial para comprender conceptos complejos. Como demuestran las plataformas mencionadas, la simulación robótica de código abierto es un recurso invaluable para democratizar la educación en esta área, ofreciendo oportunidades de aprendizaje diversas, realistas e interactivas que se adaptan a múltiples niveles y necesidades educativas.

Objetivos del trabajo:

Desarrollar e implementar una simulación de un robot planar de dos grados de libertad (GDL) con configuración Rotacional-Rotacional (RR), controlada mediante un modelo simple de cinemática inversa en ROS versión 2 (ROS2) y visualizada en RVIZ. El propósito fundamental es crear una herramienta educativa accesible y de bajo costo que permita a estudiantes de ingeniería y áreas afines comprender, experimentar y validar conceptos teóricos de la robótica, superando las barreras impuestas por la falta de acceso a equipos robóticos físicos. Para alcanzar este objetivo, se plantean los siguientes pasos:

1. Desarrollar el modelo matemático de la cinemática directa e inversa para el robot planar RR, definiendo las ecuaciones que relacionan el espacio articular con el espacio cartesiano.
2. Construir un paquete en ROS2 que incluya la descripción del robot en formato URDF (Unified Robot Description Format) para su correcta representación visual.
3. Programar un nodo en ROS2 que reciba como entrada una coordenada de destino x_d, y_d y, utilizando el modelo matemático, calcule los ángulos articulares q_1, q_2 necesarios para que el efector final del robot alcance dicha posición y configurar RVIZ para visualizar el modelo del robot y su movimiento en tiempo real. El nodo de cinemática inversa publicará los estados de las articulaciones, permitiendo observar cómo el robot simulado responde a las coordenadas de destino y validando así el funcionamiento del algoritmo.

Este proyecto responde a la falta de equipos en la educación robótica mediante una simulación que democratiza el aprendizaje práctico y cierra la brecha entre teoría y aplicación. Al permitir a los estudiantes visualizar conceptos complejos como la cinemática inversa en un entorno 3D interactivo, la herramienta ofrece un espacio seguro para experimentar sin el riesgo de dañar hardware costoso. Fundamentalmente, introduce a los estudiantes al ecosistema ROS2, un estándar de la industria, equipándolos con habilidades técnicas de alta demanda para su futuro profesional.



Metodología aplicada:

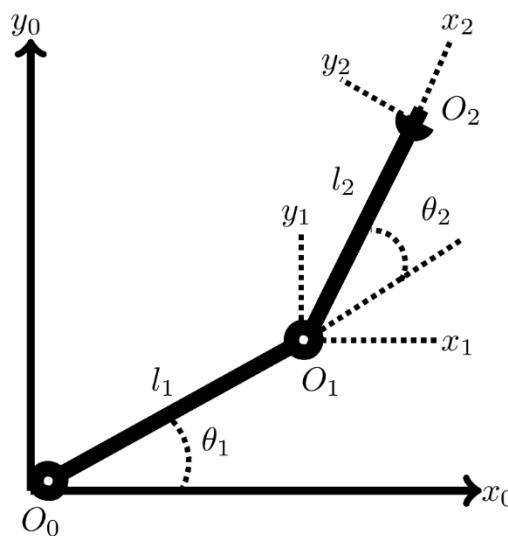
El modelo estándar para un manipulador plano de dos GDL consiste en una cadena cinemática serial de dos eslabones rígidos conectados por dos articulaciones rotacionales, que operan en un plano vertical. Los parámetros clave se definen de la siguiente manera:

- Los eslabones eslabón 1 y eslabón 2, son dos cuerpos rígidos con longitudes fijas l_1 y l_2 , respectivamente.
- Las dos articulaciones son del tipo rotacionales. La articulación 1 conecta el eslabón 1 a una base fija, mientras que la articulación 2 conecta el eslabón 2 al final del eslabón 1. Estas se representan por un vector de ángulos articulares, $q = [\theta_1, \theta_2]^T$, donde θ_1 es el ángulo del eslabón 1 medido en sentido antihorario desde el eje horizontal del sistema de coordenadas base y θ_2 es el ángulo del eslabón 2 medido en sentido antihorario relativo a la orientación del eslabón 1.

Para describir matemáticamente la geometría del manipulador, se asignan sistemas de coordenadas a cada eslabón de manera sistemática. El sistema $\{0\}$ ($O_0 - x_0y_0$), es un sistema inercial fijo, también conocido como sistema base, con su origen ubicado en el eje de la articulación 1. El eje x_0 es horizontal. El sistema $\{1\}$ ($O_1 - x_1y_1$), es un sistema unido al final del eslabón 1, con su origen en el eje de la articulación 2. El eje x_1 está alineado con el eslabón 1. El sistema $\{2\}$ ($O_2 - x_2y_2$), es el último sistema unido al final del eslabón 2, que es el efector final. Su origen está en la punta del eslabón 2, y su eje x_2 está alineado con el eslabón 2.

Una representación esquemática de este modelo, incluyendo todos los parámetros y sistemas de coordenadas.

Figura 1





Cadena cinemática del robot manipulador.

Derivación matemática:

La cinemática directa (CD) es el problema de determinar la posición y orientación del efector final dados los valores de las variables articulares. Para derivar matemáticamente este problema se utiliza un enfoque trigonométrico. Las coordenadas del origen del sistema O_1 se muestran en el conjunto de ecuaciones 1.

$$\begin{aligned} x_1 &= l_1 \cos(\theta_1) \\ y_1 &= l_1 \sin(\theta_1) \end{aligned} \quad (1)$$

La posición del efector final o, dicho de otra forma, el origen del sistema O_2 es la suma de la posición del final del eslabón 1 y el vector del eslabón 2, cuyo ángulo con respecto al eje x_0 es $\theta_1 + \theta_2$. Es decir, el conjunto de ecuaciones 2 constituyen el mapa cinemático directo para este manipulador

$$\begin{aligned} x_2 &= l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 &= l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (2)$$

El problema de la cinemática inversa (CI) es el reverso de la cinemática directa, es decir dada una posición deseada del efector final en el espacio cartesiano, (x_2, y_2) , se determina el conjunto requerido de ángulos articulares, (θ_1, θ_2) . Este problema es fundamentalmente más desafiante porque las ecuaciones de la cinemática directa son no lineales, lo que significa que las soluciones pueden no ser únicas y, en algunos casos, pueden no existir en absoluto.

Para este manipulador, se puede encontrar una solución en forma cerrada utilizando un enfoque geométrico. Partiendo del conjunto de ecuaciones 2 donde $c_1 = \cos(\theta_1)$, $s_1 = \sin(\theta_1)$, y $c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$, para resolver para θ_2 , se eleva al cuadrado y se suman dichas ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_2^2 + y_2^2 &= (l_1 c_1 + l_2 c_{12})^2 + (l_1 s_1 + l_2 s_{12})^2 \\ &= l_1^2 (c_1^2 + s_1^2) + l_2^2 (c_{12}^2 + s_{12}^2) + 2l_1 l_2 (c_1 c_{12} + s_1 s_{12}) \end{aligned}$$

Usando las identidades $\cos^2 A + \sin^2 A = 1$ y $\cos(A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$, esto se simplifica a:

$$x_2^2 + y_2^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos((\theta_1 + \theta_2) - \theta_1) = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos(\theta_2) \quad (3)$$

La ecuación 3 se puede resolver directamente para $\cos(\theta_2)$:

$$\cos(\theta_2) = \frac{x_2^2 + y_2^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (4)$$

Para encontrar θ_2 en la ecuación 4, se puede usar la función arcotangente de cuatro cuadrantes.

Dado que $\sin(\theta_2) = \pm \sqrt{1 - \cos^2(\theta_2)}$, hay dos soluciones posibles para θ_2 :

$$\theta_2 = \text{atan2}(\pm \sqrt{1 - \cos^2(\theta_2)}, \cos(\theta_2)) \quad (5)$$



Una vez que se conoce θ_2 , se puede resolver para θ_1 . Del conjunto de ecuaciones 3, estas se pueden reescribir como un sistema lineal para c_1 y s_1 :

$$\begin{aligned}x_2 &= (l_1 + l_2 c_2)c_1 - (l_2 s_2)s_1 \\y_2 &= (l_2 s_2)c_1 + (l_1 + l_2 c_2)s_1\end{aligned}\tag{6}$$

Resolver el sistema de expresiones 6 para c_1 y s_1 , da como resultado el poder encontrar θ_1 :

$$\theta_1 = \text{atan2}(y_E(l_1 + l_2 c_2) - x_E(l_2 s_2), x_E(l_1 + l_2 c_2) + y_E(l_2 s_2))\tag{7}$$

Las ecuaciones 5 y 7 dan solución al posicionamiento de la mano del robot en un espacio bidimensional.

Creación del modelo URDF:

El Formato de Descripción Unificado de Robot (URDF) es una especificación basada en XML para modelar las características físicas de un robot. Sirve como un lenguaje común para varios componentes de ROS2, permitiéndoles comprender la estructura del robot para tareas que van desde la visualización hasta la simulación basada en modelos físicos y la planificación de trayectorias (Open-Robotics, n.d.). El modelo URDF requiere al menos un eslabón para servir como la raíz del árbol cinemático y generalmente es una práctica estándar definir un eslabón virtual y no físico, a menudo llamado *base_link*, para anclar el robot al entorno. A partir de esta raíz, se definen los dos eslabones móviles del manipulador, *Link1* que es el primer eslabón físico del manipulador y *Link2*, de longitudes l_1 y l_2 . Para la visualización, se modelan como un cilindro simple. La geometría del cilindro se define con su origen en su centro, por lo tanto, para posicionar correctamente el modelo visual, se debe usar una etiqueta *<origin>* para desplazar la mitad de su longitud a lo largo del eje x_0 , de modo que parezca extenderse desde la articulación. Se utiliza una definición similar para la geometría de colisión y se incluye un bloque inercial plausible y no nulo para su posible uso en simuladores de modelos físicos como Gazebo. Con los eslabones definidos, se crean las articulaciones para conectarlos y definir su movimiento. Este es el paso más crítico, donde se codifican los parámetros cinemáticos derivados del conjunto de ecuaciones 2. Para un mejor entendimiento de estos parámetros se observa.



Tabla 1

Modelo generado en URDF:

Elemento		Elemento		
Cinemático	Descripción	URDF	Elemento URDF	Valor
Sistema O_0	El sistema de referencia inercial y global	<i>Link</i>	<code><Link name="base_Link"></code>	N/A
Rotación articulación θ_1	Rotación de <i>Link1</i> relativa a <i>base_Link</i>	<i>joint</i>	<code><joint name="joint1" type="revolute"></code>	N/A
Eje articulación 1	Eje de rotación para θ_1	<i>joint</i>	<code><axis xyz="..."></code>	0,0,1
Sistema O_1	Sistema de coordenadas unido al primer eslabón	<i>Link</i>	<code><Link name="Link1"></code>	N/A
Longitud eslabón L_1	La longitud del primer eslabón	<i>joint</i>	<code><origin xyz="..."></code> en <i>joint2</i>	$l_1, 0, 0$
Rotación articulación θ_2	Rotación de <i>Link2</i> relativa a <i>Link1</i>	<i>Joint</i>	<code><joint name="joint2" type="revolute"></code>	N/A
Eje articulación 2	Eje de rotación para θ_2	<i>joint</i>	<code><axis xyz="..."></code>	0,0,1
Sistema O_2	Sistema de coordenadas unido al segundo eslabón	<i>Link</i>	<code><Link name="Link2"></code>	N/A



Imagen 1

Código del modelo URDF del robot

```
<robot name="planar_rr_manipulator">

<link name="base_link">
<visual>
<geometry>
<cylinder length="0.05" radius="0.05"/>
</geometry>
<origin rpy="0 0 0" xyz="0 0 0"/>
<material name="grey">
<color rgba="0.5 0.5 0.5 1"/>
</material>
</visual>
</link>

<link name="link1">
<visual>
<geometry>
<cylinder length="1.0" radius="0.04"/>
</geometry>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
<material name="blue">
<color rgba="0.1 0.1 0.8 1"/>
</material>
</visual>
<collision>
<geometry>
<cylinder length="1.0" radius="0.04"/>
</geometry>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
</collision>
<inertial>
<mass value="1.0"/>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
<inertia ixx="0.001" ixy="0.0" ixz="0.0" iyy="0.083" iyz="0.0" izz="0.083"/>
</inertial>
</link>

<link name="link2">
<visual>
<geometry>
<cylinder length="1.0" radius="0.04"/>
</geometry>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
<material name="green">
<color rgba="0.1 0.8 0.1 1"/>
</material>
</visual>
<collision>
<geometry>
<cylinder length="1.0" radius="0.04"/>
</geometry>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
</collision>
<inertial>
<mass value="1.0"/>
<origin rpy="0 1.57079632679 0" xyz="0.5 0 0"/>
<inertia ixx="0.001" ixy="0.0" ixz="0.0" iyy="0.083" iyz="0.0" izz="0.083"/>
</inertial>
</link>

<joint name="joint1" type="revolute">
<parent link="base_link"/>
<child link="link1"/>
<origin xyz="0 0 0"/>
<axis xyz="0 0 1"/>
<limit effort="1000.0" lower="-3.14159" upper="3.14159" velocity="0.5"/>
<dynamics damping="0.1" friction="0.1"/>
</joint>

<joint name="joint2" type="revolute">
<parent link="link1"/>
<child link="link2"/>
<origin xyz="1.0 0 0"/>
<axis xyz="0 0 1"/>
<limit effort="1000.0" lower="-3.14159" upper="3.14159" velocity="0.5"/>
<dynamics damping="0.1" friction="0.1"/>
</joint>

</robot>
```

Simulación del robot:

Una vez definido el modelo cinemático y su representación en formato URDF, el siguiente paso consiste en la simulación y visualización del robot. Esta fase es fundamental para la validación de la integridad estructural y la correcta definición cinemática del modelo desarrollado



anteriormente. Al verificar visualmente el modelo antes de implementar los algoritmos de control, se establece una línea de confianza que permite aislar y rectificar posibles errores en la descripción cinemática, por ejemplo, longitudes de eslabón incorrectas, ejes de rotación mal definidos o sistemas de coordenadas mal ubicados, de manera independiente a la lógica de control, lo cual simplifica significativamente el proceso de depuración posterior.

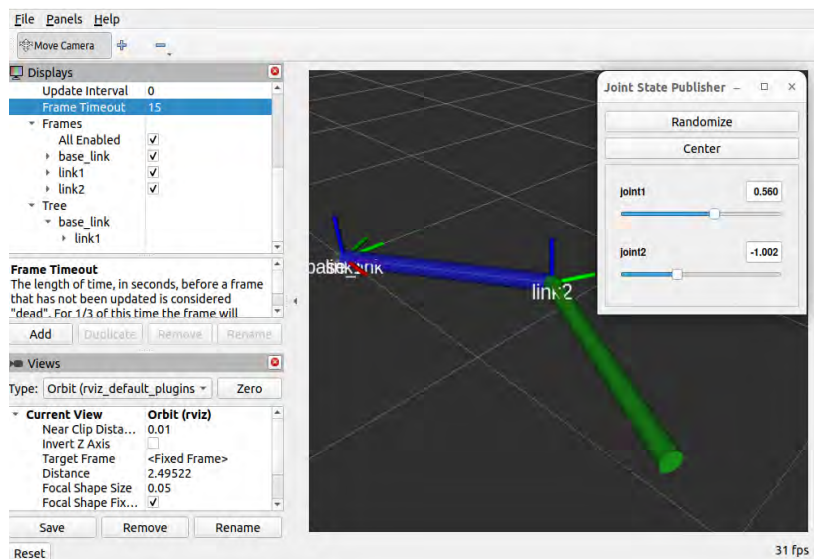
Para este fin se utiliza el ecosistema ROS2, específicamente junto a sus herramientas de visualización RVIZ2 (Kam et al. 2015). La simulación se inicia mediante la ejecución de un único comando en la terminal, el cual orquesta un sistema de nodos interconectados para lograr una representación interactiva del manipulador:

```
ros2 launch urdf_tutorial display.launch.py model:=robot.urdf
```

El uso de este comando no es meramente un atajo, sino una aplicación directa de los principios de diseño fundamentales de ROS2 que son abstracción y reutilización. El archivo *display.launch.py* abstrae la complejidad de la pila de visualización, compuesta por tres nodos distintos y sus interconexiones, en una interfaz de comando única y simple. Al reutilizar este componente del ecosistema ROS2, el desarrollo se acelera, se adhiere a las mejores prácticas y se beneficia de la fiabilidad del código mantenido por la comunidad, instanciando un patrón arquitectónico predefinido en lugar de construir una solución monolítica desde cero (Macenski et al. 2022).

Imagen 2

Simulación en ROS2





Este procedimiento, que emplea herramientas estándar del ecosistema ROS2, permite una validación rigurosa y eficiente del modelo URDF del manipulador planar. La correcta visualización y la capacidad de manipular manualmente el modelo en RVIZ2, confirman que la cadena cinemática, las dimensiones de los eslabones y los ejes de las articulaciones han sido definidos correctamente en el archivo URDF.

Análisis y discusión de resultados:

La evaluación del proyecto se llevó a cabo en dos fases distintas, una verificación técnica de la funcionalidad de la simulación y una validación pedagógica de su eficacia como herramienta de aprendizaje en un entorno controlado.

La primera fase de los resultados consistió en la validación técnica del sistema completo. Se confirmó que la implementación del software funcionaba según lo diseñado. El nodo de cinemática inversa, que implementa las ecuaciones derivadas, calculó correctamente los ángulos articulares θ_1 y θ_2 para cualquier coordenada cartesiana (x_d, y_d) dentro del espacio de trabajo alcanzable del robot.

Al publicar estos ángulos en la simulación, se observó que el modelo del robot visualizado en RVIZ2 movía su efector final a la posición de destino especificada de manera precisa y en tiempo real. Se realizaron pruebas exhaustivas en los límites del espacio de trabajo para verificar la robustez del solucionador de cinemática inversa. Esta verificación funcional confirmó que el modelo matemático, su codificación en el archivo URDF y la arquitectura de software en ROS2 se integraron correctamente en un sistema cohesivo y operativo.

Una vez verificada la funcionalidad técnica, la simulación se implementó como la pieza central de una intervención educativa. Se diseñó un taller de tres horas para una cohorte de 30 estudiantes de tercer año de Ingeniería Mecatrónica. Estos estudiantes habían recibido previamente instrucción teórica sobre cinemática de robots en sus cursos, pero carecían de experiencia práctica con manipuladores robóticos físicos y no tenían exposición previa al ecosistema ROS2. El objetivo era evaluar la capacidad de la simulación para cerrar la brecha entre el conocimiento teórico y la comprensión aplicada.

La eficacia de la simulación como herramienta pedagógica se evaluó mediante una combinación de observación directa durante el taller, retroalimentación cualitativa y encuestas de autoevaluación aplicadas antes y después de la intervención. Los resultados indicaron una mejora significativa en la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos fundamentales de la robótica.

El valor principal de la simulación reside en su capacidad para crear un bucle de retroalimentación directo e interactivo entre las entradas matemáticas abstractas y las salidas visuales tangibles.

Al permitir a los estudiantes introducir una coordenada de destino y observar instantáneamente



el movimiento resultante del robot, la herramienta hace que las ecuaciones cinemáticas cobren vida. Los estudiantes pudieron conectar visualmente los conceptos abstractos de espacio articular y espacio cartesiano, ganando una comprensión intuitiva del problema de la cinemática inversa. Además, la exploración interactiva del espacio de trabajo del robot les permitió visualizar de forma natural conceptos complejos como las singularidades y los límites de alcance, que son notoriamente difíciles de asimilar a partir de diagramas estáticos o fórmulas.

La síntesis de estos resultados confirma la tesis central del proyecto. El despliegue educativo exitoso demuestra que la simulación desarrollada es una alternativa altamente eficaz y viable al hardware físico en entornos educativos limitados por el presupuesto y la infraestructura. Al proporcionar un entorno interactivo y libre de riesgos para la experimentación, la simulación democratiza el acceso a una educación en robótica práctica y de alta calidad. Esta herramienta valida el objetivo principal del proyecto, que es crear un recurso accesible que cierre eficazmente la brecha entre la teoría y la aplicación práctica, equipando a la próxima generación de ingenieros con las habilidades conceptuales y técnicas necesarias para su futuro profesional.

Conclusiones:

Este trabajo ha presentado el diseño, la implementación y la validación de una herramienta de simulación de bajo costo y código abierto para la enseñanza de la cinemática de manipuladores robóticos. El proyecto logró con éxito desarrollar un sistema funcional basado en el ecosistema ROS2 que permite a los estudiantes visualizar y experimentar con los principios de la cinemática directa e inversa de un robot planar de 2 GDL.

La principal contribución de este trabajo radica en su validación en un entorno educativo real. Los resultados demostraron de manera concluyente que la simulación es una herramienta pedagógica eficaz, capaz de mejorar significativamente la comprensión de los estudiantes sobre conceptos teóricos complejos y, al mismo tiempo, proporcionarles una introducción práctica a las tecnologías estándar de la industria como ROS2. Se ha demostrado que este tipo de herramientas son esenciales para superar las barreras de recursos que enfrentan muchas instituciones de educación superior, promoviendo así un avance más equitativo en la educación STEM y preparando mejor a los estudiantes para las demandas de la industria tecnológica global. El trabajo futuro se centrará en ampliar las capacidades y el alcance educativo de esta plataforma. Las direcciones de desarrollo incluyen incorporar el modelo dinámico del robot para permitir la simulación de control basado en par motor utilizando las propiedades inerciales ya definidas en el archivo URDF, desarrollar nodos adicionales que implementen algoritmos de planificación de trayectorias, permitiendo a los estudiantes diseñar movimientos suaves y controlados en lugar de un simple posicionamiento punto a punto y crear una biblioteca de



modelos URDF para diferentes configuraciones robóticas para ampliar el alcance de los conceptos que se pueden enseñar con la plataforma.

Mediante estas mejoras, se espera consolidar la simulación como un recurso educativo integral y versátil, contribuyendo a la formación de ingenieros altamente capacitados, independientemente de las limitaciones de infraestructura de su institución.



Bibliografía:

1. Ali, Nagla, Ieda M Santos, Rehab AlHakmani, Othman Abu Khurma, Myint Swe Khine, and Usama Kassem. 2023. "Exploring Technology Acceptance: Teachers' Perspectives on Robotics in Teaching and Learning in the UAE." *Contemporary Educational Technology* 15 (4): ep469.
2. Almuaythir, Sultan, Atul Kumar Singh, Mohammad Alhusban, and Ahmed Osama Daoud. 2024. "Robotics Technology: Catalyst for Sustainable Development—Impact on Innovation, Healthcare, Inequality, and Economic Growth." *Discover Sustainability* 5 (1): 486.
3. Cañas, José M, Eduardo Perdices, Lía García-Pérez, and Jesús Fernández-Conde. 2020. "A ROS-Based Open Tool for Intelligent Robotics Education." *Applied Sciences* 10 (21): 7419.
4. Darmawansah, Darmawansah, Gwo-Jen Hwang, Mei-Rong Alice Chen, and Jia-Cing Liang. 2023. "Trends and Research Foci of Robotics-Based STEM Education: A Systematic Review from Diverse Angles Based on the Technology-Based Learning Model." *International Journal of STEM Education* 10 (1): 12.
5. Hao, Wu, Farhat Rasul, Zobia Bhatti, Muhammad Shahid Hassan, Ishtiaq Ahmed, and Nabila Asghar. 2021. "A Technological Innovation and Economic Progress Enhancement: An Assessment of Sustainable Economic and Environmental Management." *Environmental Science and Pollution Research* 28 (22): 28585–97.
6. Huang, Zhenhua, Elias Kougiianos, Xun Ge, Shuping Wang, P Daniel Chen, and Liping Cai. 2021. "A Systematic Interdisciplinary Engineering and Technology Model Using Cutting-Edge Technologies for STEM Education." *IEEE Transactions on Education* 64 (4): 390–97.
7. Javaid, Mohd, Abid Haleem, Ravi Pratap Singh, and Rajiv Suman. 2021. "Substantial Capabilities of Robotics in Enhancing Industry 4.0 Implementation." *Cognitive Robotics* 1: 58–75.
8. Kam, Hyeong Ryeol, Sung-Ho Lee, Taejung Park, and Chang-Hun Kim. 2015. "Rviz: A Toolkit for Real Domain Data Visualization." *Telecommunication Systems* 60 (2): 337–45.
9. Macenski, Steven, Tully Foote, Brian Gerkey, Chris Lalancette, and William Woodall. 2022. "Robot Operating System 2: Design, Architecture, and Uses in the Wild." *Science Robotics* 7 (66): eabm6074. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abm6074>.



10. Maritz, Alex, Quan Nguyen, and Sergey Ivanov. 2022. "Student Entrepreneurship Ecosystems at Australian Higher Education Institutions." *Journal of Small Business and Enterprise Development* 29 (6): 940–57.
11. Marín-Marín, José-Antonio, Rebeca Soler Costa, Antonio-José Moreno-Guerrero, and Jesús López-Belmonte. 2020. "Makey Makey as an Interactive Robotic Tool for High School Students' Learning in Multicultural Contexts." *Education Sciences* 10 (9): 239.
12. Naciones-Unidas. 2015. "Objetivos de Desarrollo Sostenible." *Naciones Unidas*. Recuperado de <https://www.un.org/Sustainabledevelopment/Es/Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible>.
13. Nakić, Jelena, and Dora Boban. 2024. "Enhancing Informal Education with Robotic Process Automation: A Method for Automating Course Search on e-Learning Platforms." *Journal of Communications Software and Systems* 20 (2): 215–25.
14. Open-Robotics. n.d. "URDF." In *URDF - ROS 2 Documentation: Jazzy Documentation*. Robot Operating System. <https://docs.ros.org/en/jazzy/Tutorials/Intermediate/URDF/URDF-Main.html>.
15. Ouyang, Fan, and Weiqi Xu. 2024. "The Effects of Educational Robotics in STEM Education: A Multilevel Meta-Analysis." *International Journal of STEM Education* 11 (1): 7.
16. "Página de Robotics Academy." n.d. In *Robotics Academy*. <https://jderobot.github.io/RoboticsAcademy/>.
17. Papadakis, Stamatios. 2020. *Robots and Robotics Kits for Early Childhood and First School Age*.
18. Phokoye, Samkelisiwe Purity, Ayogeboh Epizitone, Ntando Nkomo, et al. 2024. "Exploring the Adoption of Robotics in Teaching and Learning in Higher Education Institutions." *Informatics* 11: 91.
19. Raudmäe, Renno, Sandra Schumann, Veiko Vunder, et al. 2023. "ROBOTONT—Open-Source and ROS-Supported Omnidirectional Mobile Robot for Education and Research." *HardwareX* 14: e00436.
20. Schegg, Pierre, Etienne Ménager, Elie Khairallah, et al. 2023. "SofaGym: An Open Platform for Reinforcement Learning Based on Soft Robot Simulations." *Soft Robotics* 10 (2): 410–30.
21. Zhan, Zehui, Baichang Zhong, Xiangyang Shi, Qiuji Si, and Jijun Zheng. 2022. "The Design and Application of IRobotQ3D for Simulating Robotics Experiments in k-12 Education." *Computer Applications in Engineering Education* 30 (2): 532–49.



VECTOR 2. COMPUTACIÓN PARA EL DESARROLLO:

ALGORITMOS, SISTEMAS INTELIGENTES Y TRANSFORMACIÓN

DIGITAL CON SENTIDO SOCIAL.

Con base en los desafíos delineados por el Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030, particularmente en los ejes de Economía moral, Trabajo y Desarrollo Sustentable, este vector temático convoca a presentar trabajos de aplicación y desarrollo de soluciones, entendiendo a la computación como una herramienta para el avance y el bienestar. Con enfoque en la creación, implementación y evaluación de sistemas computacionales que generen un impacto positivo y medible en el bienestar social, la eficiencia económica, la sostenibilidad ambiental y la gobernanza. La computación, en todas sus aristas aplicativas, tiene un impacto determinante en el “desarrollo” en general. Pero debe converger en el desarrollo social, en base a los principios de democratización participativa y bienestar comunitario, y ecológico ambiental, para un desarrollo incluyente y transformador; como principio fundamental de su potencial de impacto positivo en la humanidad. El presente vector, busca fomentar el desarrollo y la aplicación tecnológica, con perspectiva ética; teniendo en cuenta su contexto social y entorno. Con fundamento en el Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México, incorporando como pilares la sostenibilidad, la ética profesional, el pensamiento crítico y la contribución con sentido social. Proyectos que promuevan la colaboración interdisciplinaria y la participación comunitaria en el desarrollo tecnológico. Con impacto para las comunidades, redefiniendo el progreso tecnológico como un proceso colectivo, ético, ecológicamente responsable y con lógica de justicia socio-digital. Soluciones computacionales que consideren la diversidad cultural y las particularidades socioeconómicas del contexto mexicano.



VECTOR 3: ECONOMÍA MORAL, FINANZAS ÉTICAS Y

GOBERNANZA SOCIALMENTE RESPONSABLE.

Los cinco ejes enmarcados para el área económico-administrativo del CMIT 2025 integran de manera holística los principios del Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030 y el Modelo Educativo del TecNM, enfatizando la convergencia entre eficiencia económica, justicia social y sostenibilidad ambiental. Estos ejes responden a la necesidad urgente de transformar los paradigmas tradicionales de gestión hacia modelos mayormente inclusivos, éticos y ambientalmente responsables. El primer eje sobre modelos de gestión con enfoque en economía moral y bienestar laboral aborda la necesidad de equilibrar productividad con derechos laborales y equidad salarial. El segundo eje, de innovación financiera y contable sustentable, propone métricas que integren el impacto social y ambiental en las decisiones económicas. El tercer eje de emprendimiento social fomenta negocios que resuelvan problemas comunitarios mediante cadenas de valor inclusivas. La transformación digital con equidad (cuarto eje) examina cómo garantizar que la automatización y las nuevas tecnologías promuevan inclusión en lugar de exclusión. Finalmente, el quinto eje sobre políticas públicas para el bienestar impulsa mecanismos de gobierno abierto y evaluación de políticas con indicadores de desarrollo humano. Los ejes representan un marco integral para investigaciones que trasciendan el análisis teórico a través de la promoción de soluciones prácticas para reducir desigualdades, combatir la corrupción, mitigar el cambio climático y construir sistemas económicos más justos. Cada eje mantiene coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los pilares del TecNM, particularmente en su compromiso con la formación de profesionales que conciban la economía como herramienta de transformación social y ambiental. La articulación de estos temas en el CMIT 2025 posicionará al congreso como espacio clave para el diálogo entre academia, sector privado y gobierno hacia un desarrollo nacional verdaderamente incluyente y sostenible.



EL IMPACTO DE LAS ODS EN LA ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL EN LA CIUDAD DE AGUA PRIETA, SONORA.

Autor: Eduardo Rodríguez Leyva

Coautores: Blanca Esthela Zazueta Villavicencio, Silvia Patricia López Soto, Claudia Estela Peñaflor Campa

Institución de adscripción: Instituto Tecnológico de Agua Prieta

Correo electrónico de contacto: e.rodriguez@aguaprieta.tecnm.mx

RESUMEN:

La presente investigación analiza el impacto de la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la administración municipal de Agua Prieta, Sonora, en el marco de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Este municipio fronterizo cuenta con dinámicas económicas y sociales complejas, enfrentando limitaciones institucionales y financieras que dificultan una aplicación homogénea de los ODS. La investigación, basada en el Informe Subnacional Voluntario 2025 y sustentada en una metodología mixta con enfoque documental y comparativo, evalúa el grado de alineación entre el Plan Municipal de Desarrollo y la Agenda 2030. Se incorporaron fuentes estadísticas oficiales y la participación de actores locales de gobierno, sociedad civil, academia y sector privado.

Los resultados reflejan avances significativos en programas sociales y de infraestructura vinculados a los ODS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 11, destacando la reducción de la pobreza, la mejora en salud, educación y servicios básicos, así como la promoción de la equidad de género. De igual forma, continúan presentes algunos desafíos en áreas ambientales y de equidad social, particularmente en la acción climática (ODS 13) y la reducción de desigualdades (ODS 10), debido a la falta de políticas integrales y sostenibles.

Agua Prieta se consolida como un municipio pionero en la adopción local de la Agenda 2030 en su plan de gobierno, aunque se requiere fortalecer su capacidad institucional, tener una diversificación de fuentes de financiamiento y consolidar una gobernanza más participativa para lograr un desarrollo equilibrado y sostenible.

Palabras clave: Agenda 2030, ODS, gobernanza local, sostenibilidad, desarrollo municipal.



Introducción y planteamiento del problema:

En México, la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se ha convertido en un eje estratégico de la política pública orientada al bienestar social y la sostenibilidad territorial. Desde su adopción en 2015, nuestro país es impulsor de la incorporación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en los distintos niveles de gobierno, promoviendo una gobernanza basada en resultados y centrada en las personas (PNUD, 2023). A nivel nacional, el Gobierno de México ha estructurado políticas que integran los ODS en los programas sectoriales y presupuestarios, mientras que las entidades federativas han comenzado a adaptar sus planes de desarrollo en función de las necesidades regionales y los desafíos locales (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2022).

El enfoque de gobernanza basado en el bienestar social implica una transformación institucional hacia modelos que promuevan la equidad, la transparencia y la participación ciudadana. La adopción de los ODS a nivel municipal no solo contribuye al cumplimiento de compromisos internacionales, sino que fortalece la capacidad de los gobiernos locales para diseñar políticas públicas con enfoque sostenible, inclusivo y territorial.

En el marco de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se establece un marco de acción con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que exige una implementación y adaptación de políticas a contextos locales (municipios) (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). En este contexto, los municipios, identificados como células básicas en el Estado, cumplen con un papel estratégico en la implementación de estas metas en los territorios de influencia (Secretaría de Economía, 2023).

Agua Prieta, Sonora, al ser una ciudad fronteriza con una dinámica económica, social y migratoria particular, enfrenta los retos en su administración municipal con un compromiso global en la sostenibilidad (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2022).

El problema principal se define en que, pese a la voluntad política y los planes de desarrollo municipal existentes, las capacidades institucionales y financieras son limitadas y en algunos casos nulas, lo que genera una dificultad para una implementación homogénea de los ODS (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2020). Se ha tenido un registro de los avances en áreas como la reducción de la pobreza (ODS 1), acceso al agua potable (ODS 6) y energías limpias (ODS 7); sin embargo, se mantienen rezagos importantes en ámbitos como la acción climática (ODS 13) y la reducción de desigualdades (ODS 10) (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2023; PNUD, 2023).



Estas limitantes evidencian la necesidad de un fortalecimiento en la planeación basada en evidencia, la rendición de cuentas y la participación ciudadana, para consolidar un impacto real y sostenido (OCDE, 2021).

Contextualizando el aspecto geopolítico de Agua Prieta, su ubicación estratégica en la frontera con Arizona brinda oportunidades para consolidar alianzas transfronterizas (Secretaría de Relaciones Exteriores [SRE], 2022). Una situación relevante es la dependencia de programas federales y estatales para financiar acciones locales, lo que limita la autonomía municipal (INAFED, 2022).

Objetivos:

El presente artículo tiene los objetivos necesarios para su realización, tomando como referencia el Informe Subnacional Voluntario 2025. Buscando de identificar los logros alcanzados en términos de políticas públicas locales, así como retos en sectores clave del desarrollo social, económico y ambiental. De esta forma se definen como sigue:

Objetivo principal:

Analizar cuantitativa y cualitativamente el grado de avance en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la administración municipal de Agua Prieta, Sonora, durante el periodo 2024-2025, utilizando indicadores oficiales y el Informe Subnacional Voluntario 2025, para identificar logros, retos y áreas de oportunidad en el desarrollo local sostenible.

Objetivos secundarios:

1. Evaluar el grado de alineación entre el Plan Municipal de Desarrollo de Agua Prieta y la Agenda 2030, identificando áreas de convergencia y rezago.
2. Identificar los logros alcanzados en términos de políticas públicas locales relacionadas con los ODS, especialmente en los sectores social, económico y ambiental.
3. Proponer estrategias que fortalezcan la capacidad institucional y promuevan la participación ciudadana, con el fin de consolidar un desarrollo municipal sostenible.



Metodología:

El análisis se fundamenta en una revisión documental y comparativa, tomando como documento principal el Informe Subnacional Voluntario (ISV) 2025 de Agua Prieta, Sonora, elaborado por el H. Ayuntamiento, en coordinación con la Red de Investigación en Economía Social y Solidaria (RIESS) y el Instituto Tecnológico de Agua Prieta. Este proceso responde al modelo metodológico sugerido por la Secretaría de Economía en 2023 para la aplicación territorial de la Agenda 2030, el cual promueve una gobernanza local sustentada en los principios de apertura, inclusión, transparencia y colaboración de múltiples actores (ONU, 2015; PNUD, 2021).

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos (análisis de datos estadísticos y administrativos) y cualitativos (interpretación de percepciones y dinámicas sociales). Esto permitió captar tanto los avances medibles como las dimensiones sociales del desarrollo sostenible en el municipio (Creswell & Plano Clark, 2018).

El proceso metodológico contempló los siguientes pasos:

1. **Identificación de actores clave:** Se realizó un mapeo participativo de los principales actores involucrados en la implementación local de los ODS, incluyendo al gobierno municipal, dependencias descentralizadas, instituciones educativas, y organizaciones de la sociedad civil. Este diagnóstico permitió identificar las capacidades institucionales, los mecanismos de coordinación intersectorial y las oportunidades de colaboración (INAFED, 2022; OCDE, 2021).
2. **Recopilación de datos oficiales:** Se integraron fuentes estadísticas provenientes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), padrones y registros de programas sociales, registros de servicios públicos municipales y reportes administrativos de organizaciones civiles. Estos datos permitieron establecer una base general de indicadores para cada ODS, conforme a la metodología nacional de seguimiento establecida por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2023).
3. **Sistematización de acciones municipales:** Se hizo un análisis de las políticas, los programas y proyectos realizados por la administración municipal en relación con los 17 ODS, evaluando la cobertura, el impacto poblacional, la eficiencia del gasto público y los resultados medibles en indicadores de bienestar. Esta etapa permitió construir una matriz de intervenciones locales y su correspondencia con las metas globales y nacionales (Secretaría de Economía, 2023).
4. **Contraste con los lineamientos de la Agenda 2030 para México:** Se verificó el grado de cumplimiento de las metas nacionales adaptadas al contexto subnacional, tomando como



referencia la Guía Metodológica para la Elaboración de Informes Subnacionales Voluntarios (Secretaría de Economía, 2023) y las recomendaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2020). Este contraste permitió identificar los avances, brechas y oportunidades de mejora en la planeación estratégica municipal.

5. Análisis cualitativo y cuantitativo: La dimensión cuantitativa incluyó el tratamiento estadístico de indicadores sobre infraestructura, servicios básicos, educación, salud y medio ambiente; mientras que la dimensión cualitativa incorporó la percepción ciudadana, la inclusión de grupos vulnerables y el nivel de apropiación comunitaria de los ODS. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas y análisis de contenido de documentos oficiales, siguiendo un enfoque interpretativo de la gobernanza local (PNUD, 2021; OCDE, 2021).

El ISV permitió no solo documentar los avances, sino que visualiza las limitaciones en la gestión local. Además, se consideran comparaciones con experiencias previas de otros municipios que han presentado informes similares, ubicando el caso de Agua Prieta en un marco de referencia nacional.

Al emplear esta metodología aseguramos un acercamiento que valora la aplicación de la Agenda 2030 en Agua Prieta, haciendo énfasis en los avances logrados y en los retos pendientes.

Análisis y discusión de resultados:

Los resultados dan cuenta de los avances importantes en la administración municipal de Agua Prieta en relación con los ODS. En el aspecto social, se fortalecieron programas contra Fin de la pobreza (ODS 1) mediante la entrega de 6,900 despensas y apoyos a más de 1,157 personas en situación vulnerable (Tabla 1).

Tabla 1

Descripción de resultados obtenidos por la Administración Municipal.

Tabla 1 ODS 1
Resultados de las líneas de acción
<ul style="list-style-type: none"> • Se beneficiaron a más de 1,157 personas en los padrones, entregando un total de 6,900 despensas
<ul style="list-style-type: none"> • Beneficiar a 216 madres de familia directamente con cursos de diferentes temas.



- Generar oportunidades de autoempleo y autonomía económica para mujeres en situación de vulnerabilidad, promoviendo su inclusión social y mejorando la economía de sus hogares.

Descripción de resultados obtenidos por la Administración Municipal para la ODS 1 con relación a entrega de despesas y cursos para autoempleo (Fuente: H. Ayuntamiento de Agua Prieta).

En seguridad alimentaria (ODS 2), se distribuyeron cerca de un millón de raciones escolares y se implementaron comedores comunitarios que beneficiaron a más de 62 mil menores.

Tabla 2

Descripción de resultados obtenidos por la Administración Municipal.

Tabla 2 Resultados ODS 2
Actividades implementadas y resultados.
⇒ La distribución de despensas nutritivas para familias en situación de pobreza extrema benefició a 430 familias.
⇒ Se creó una red de comedores comunitarios en zonas marginadas, beneficiando principalmente a niñas, niños, personas adultas mayores y personas con discapacidad. A través de estos espacios, se entregaron 998,406 raciones alimentarias a 62,630 menores en 60 escuelas.
⇒ Programa Cuidar a Quienes Cuidan: Apoyo económico bimestral a personas cuidadoras de personas con discapacidad, quienes por su labor no pueden integrarse a empleos formales, beneficiando a 123 familias.
⇒ Programa Jefas Autogestoras de la Transformación Social: apoyo económico de hasta \$25,000 pesos para madres jefas de familia, destinado al impulso de nuevos emprendimientos o al fortalecimiento de negocios existentes. Este programa benefició a 11 familias.
⇒ Programa Yo Genero Inclusión: inclusión financiera para familias LGBT, mediante créditos de entre \$15,000 y \$25,000 pesos para iniciar o expandir un negocio. Esta iniciativa benefició a 11 familias.



⇒ Programa Mano con Mano: apoyo económico bimestral de \$2,200 pesos para familias en pobreza extrema, beneficiando a 132 familias.

Descripción de resultados obtenidos por la Administración Municipal para la ODS 2 con relación a desayunos escolares, apoyo a comedores comunitarios y programas de apoyo a la sociedad (Fuente: H. Ayuntamiento de Agua Prieta).

En salud y bienestar (ODS 3), se brindaron 12,800 consultas médicas y se llevaron a cabo campañas de vacunación y prevención de violencia (Tabla 3). En educación (ODS 4), se modernizaron seis planteles educativos, beneficiando a 900 estudiantes, y se desarrollaron programas culturales de gran impacto comunitario. La equidad de género (ODS 5) avanzó con capacitaciones en liderazgo y prevención de violencia que alcanzaron a más de 700 personas.

Tabla 3

Resultados en el área de salud logrados.

Tabla 3: ODS 3: Salud y Bienestar
Objetivos y Resultados
<ul style="list-style-type: none">▪ Atención en el Área Médica: se atendieron alrededor de 12,800 consultas en diferentes especialidades.
<ul style="list-style-type: none">▪ Campañas permanentes de vacunación: se vacunaron 274 personas con apoyo del Hospital General.
<ul style="list-style-type: none">▪ Se impartieron cursos y talleres de concientización dirigidos a jóvenes, mujeres, personas adultas mayores y comunidad estudiantil, abordando temas como: vida libre de violencia, violencia en el noviazgo, violencia contra la mujer, violencia en relaciones interpersonales, estrés, autocuidado y autoestima (ver imagen 2).

Resultados en el área de salud logrados en el periodo 2024-2025 en el municipio de Agua Prieta (Fuente: H. Ayuntamiento de Agua Prieta).



CONVERGENCIA CIENTÍFICA PARA LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL

En términos de infraestructura y servicios (ODS 6, 7, 9 y 11), el municipio amplió redes de agua potable y alcantarillado, alcanzando coberturas superiores al 90 %, instaló luminarias LED en el 60 % de espacios públicos y modernizó vialidades estratégicas. Asimismo, se impulsaron programas de gestión de residuos sólidos (ODS 12) y campañas de reforestación (ODS 13) (Ver imagen 1).

Imagen 1

Obras realizadas



Obras realizadas en el periodo del ISV 2025 del Municipio de Agua Prieta (Fuente: H. Ayuntamiento de Agua Prieta).

Aún con los resultados presentados, encontramos retos importantes para la administración municipal ya que existen rezagos en algunas áreas importantes como lo son: el impacto en la acción climática (ODS 13) que en general solo se limitada a campañas educativas y reforestaciones puntuales, no existiendo políticas integrales de mitigación. En reducción de desigualdades (ODS 10), se han desarrollado programas de inclusión para la comunidad LGBT+ y mujeres en pobreza, pero la cobertura es insuficiente frente a la magnitud de la problemática



presentada. Es necesario la consolidación de alianzas (ODS 17) que muestren avances ya que se requiere mayor institucionalización y continuidad a las existentes.

Conclusión:

Al realizar esta investigación sobre la implementación de los ODS en Agua Prieta, Sonora, se expone el potencial de los gobiernos municipales como actores estratégicos en la Agenda 2030. Para el municipio de Agua Prieta, las metas alcanzadas en combate a la pobreza, seguridad alimentaria, acceso al agua potable y modernización de servicios públicos muestra un impacto en la calidad de vida de la población. De igual forma, el enlace con instituciones académicas y sociedad civil evidencia una gobernanza más inclusiva y participativa.

Los resultados muestran que el impacto ha sido poco equilibrado. Los ODS vinculados con el medio ambiente, como la acción por el clima (ODS 13) y la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15), muestran avances con limitaciones y requieren políticas más integrales y sostenibles para la distribución de recursos. La reducción de desigualdades (ODS 10) enfrenta dificultades para consolidar la inclusión plena de sectores vulnerables en el ámbito económico y social.

En conclusión, Agua Prieta se destaca como uno de los primeros municipios en Sonora en la adopción de los ODS, pero de igual manera es necesario fortalecer su capacidad institucional, diversificar sus fuentes de financiamiento y consolidar políticas públicas a corto y mediano plazo. Las áreas menos impactadas deben ser priorizadas en la agenda local, con el fin de garantizar un desarrollo equilibrado y sostenible.



Referencias:

1. Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
2. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2023). *Informe de evaluación de la política de desarrollo social 2022-2023*. <https://www.coneval.org.mx>
3. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2022). *Agenda para el desarrollo municipal 2022: Guía para fortalecer las capacidades locales*. Secretaría de Gobernación. <https://www.gob.mx/inafed>
4. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://sdgs.un.org/es/2030agenda>
5. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2021). *Gobernanza multinivel y desarrollo territorial en México*. OCDE Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264308894-es>
6. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). *Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en los gobiernos locales de México*. PNUD México. <https://www.undp.org/es/mexico>
7. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2021). *Avances y desafíos de la Agenda 2030 en los municipios mexicanos*. PNUD México.
8. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). *Informe nacional sobre desarrollo humano en México 2023*. PNUD México.
9. Secretaría de Economía. (2023). *Guía metodológica para la elaboración de informes subnacionales voluntarios sobre la Agenda 2030*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/se>
10. Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE). (2022). *Cooperación transfronteriza y desarrollo sostenible en municipios de frontera norte*. SRE México.



VECTOR 4: PRODUCCIÓN; AUTOMATIZACIÓN Y EFICIENCIA

ENERGÉTICA CON RESPONSABILIDAD AMBIENTAL; INNOVACIÓN

ORGANIZACIONAL; MEJORA CONTINUA Y TRABAJO DIGNO.

En contribución a los desafíos marcados por el Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030, particularmente en los ejes de economía moral y trabajo y desarrollo sustentable, este vector temático convoca a la reflexión crítica, la investigación aplicada y la divulgación de propuestas orientadas a transformar los sistemas productivos y organizacionales desde una visión ética, sostenible y con justicia social. Los procesos de producción y automatización no deben desvincularse de sus impactos humanos y ambientales. Se requiere reconfigurar la práctica ingenieril y de gestión para que responda no solo a criterios de eficiencia, sino también a los principios de democratización participativa y bienestar comunitario, alineados con un desarrollo verdaderamente incluyente y transformador. Este vector se fundamenta en el Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México, incorporando como pilares la sostenibilidad, la ética profesional, el pensamiento crítico y la contribución con sentido social. Se alienta la presentación de trabajos que integren la técnica con el compromiso ético, que propongan mejoras concretas a los procesos industriales o administrativos, pero sin desvincularse del tejido social y ecológico al que pertenecen.



EVOLUCIÓN Y RETOS DE LA LOGÍSTICA INDUSTRIAL EN AGUA PRIETA, SONORA: PROYECCIÓN ESTRATÉGICA HACIA LA COMPETITIVIDAD REGIONAL.

Autor: Francisco Elpidio Gortarez Vidal".

Institución de adscripción: Instituto Tecnológico de Agua Prieta.

Correo electrónico de contacto: f.gortarez@aguaprieta.tecnm.mx

Palabras clave: Logística industrial, competitividad regional, Agua Prieta, cadena de suministro, desarrollo sostenible.

Planteamiento del problema:

La ciudad de Agua Prieta, Sonora, se ubica en un punto estratégico para el desarrollo económico fronterizo del norte de México. A pesar del creciente protagonismo del sector manufacturero en la región, se enfrenta a una limitada infraestructura logística, lo que restringe su potencial para convertirse en un eje competitivo dentro de las cadenas de suministro transfronterizas. Este escenario evidencia una brecha importante entre el desarrollo industrial local y las condiciones logísticas que permitirían su consolidación y expansión.

En este contexto, emergen preguntas relevantes: ¿cómo ha evolucionado la logística industrial en Agua Prieta? ¿Cuáles son los retos y oportunidades que enfrenta el sector logístico local? ¿Qué factores estructurales y organizativos limitan su desarrollo? Este trabajo se propone abordar estas preguntas desde una mirada crítica, situada y propositiva.

La relevancia de esta investigación reside en su contribución a la comprensión del papel de la logística como palanca para el desarrollo territorial con justicia productiva, así como en la posibilidad de generar recomendaciones orientadas a la transformación de los sistemas logísticos locales bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia e inclusión.

Objetivo del trabajo:

Analizar, desde una perspectiva postpositivista, el estado actual, evolución y retos de la logística industrial en Agua Prieta, Sonora, identificando las limitaciones estructurales, las oportunidades estratégicas y los factores críticos que inciden en su desarrollo competitivo y sostenible.

Metodología:

La investigación se enmarca en el paradigma postpositivista, reconociendo la existencia de una realidad objetiva sujeta a interpretación contextual, lo que permite articular el análisis empírico con una comprensión crítica de las dinámicas locales.



El enfoque metodológico es mixto, de tipo descriptivo y exploratorio, basado en un diseño no experimental y de corte transeccional (transversal). Las técnicas empleadas incluyen:

- Revisión documental de políticas públicas, marcos teóricos y estadísticas oficiales (INEGI, Secretaría de Economía, documentos de planeación estatal y municipal).
- Entrevistas semiestructuradas a actores clave: empresarios manufactureros, operadores logísticos, agencias aduanales, representantes gubernamentales y líderes gremiales.
- Observación directa de instalaciones logísticas y flujos operativos en empresas representativas del sector.
- Análisis FODA participativo, con enfoque territorial.

La muestra está compuesta por 23 unidades de análisis (empresas manufactureras, agencias aduanales, empresas transportistas, gobierno y universidades), así como actores institucionales seleccionados bajo criterios de representatividad e incidencia en la cadena logística regional.

Síntesis e Historia y Perspectiva Económica de Agua Prieta, Sonora.

1) Síntesis histórica.

El asentamiento moderno surgió a finales del siglo XIX, impulsado por el tendido ferroviario y la cercanía a las operaciones mineras y metalúrgicas de la región Douglas–Cananea. En 1899 se reconoce como población; en 1916 se erige el municipio de Agua Prieta; en 1933 alcanza categoría de villa y en 1942 obtiene el rango de ciudad. A partir de 1967 inicia la etapa maquiladora dentro del Programa de Industrialización Fronteriza, consolidándose como eje manufacturero de exportación durante las décadas siguientes. (Contreras, 2020).

2) Población.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, la ciudad cuenta con poco más de 91 mil habitantes. La zona urbana concentra la mayor parte de la población municipal y se integra funcionalmente con Douglas, Arizona, mediante tráfico cotidiano laboral y comercial. (INEGI, 2020).

3) Estructura productiva y canal maquilador.

La economía local está liderada por la industria manufacturera de exportación. Los giros recurrentes incluyen arneses y cables eléctricos, ensamble electrónico, artículos confeccionados, dispositivos y suministros para sectores médico y automotriz, además de muebles y otros componentes. El canal maquilador ha provisto empleo formal y encadenamientos con logística, servicios técnicos, mantenimiento y proveeduría regional.

4) Comercio exterior y estadísticas de exportación.



Las exportaciones anuales del municipio rondaron los 601 millones de dólares en 2024, con leves ajustes a la baja frente al año previo. Los principales productos exportados incluyen alambres y cables eléctricos, artículos confeccionados y calentadores eléctricos, entre otros. En 2025, los flujos mensuales muestran balanzas comerciales positivas recurrentes, con ventas al exterior cercanas a los 30–48 millones de dólares por mes. (Secretaría de Economía, 2025).

Análisis y Discusión de resultados:

Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a actores clave: empresarios manufactureros, operadores logísticos, agencias aduanales, representantes gubernamentales. Observación directa de instalaciones logísticas y flujos operativos en empresas representativas del sector con apoyo de aplicación del método de encuesta.

Se analizaron 23 respuestas de un formulario sobre la logística industrial en Agua Prieta. La muestra está compuesta principalmente por empresas manufactureras y empresas grandes, y recoge percepciones sobre infraestructura, costos y prioridades de intervención. Los hallazgos clave muestran que la infraestructura vial y la capacidad aduanal son los retos más urgentes; la digitalización y el talento humano aparecen como prioridades complementarias. A partir de estos resultados se proponen acciones concretas de corto y mediano plazo para impulsar la competitividad regional.

Metodología:

Instrumento: Formulario en línea (48 preguntas).

Tamaño muestral: 23 respuestas.

Análisis: Resumen descriptivo de variables categóricas, conteo de menciones en preguntas de selección múltiple y análisis simple de respuestas abiertas (identificación de temas recurrentes y ejemplos representativos).



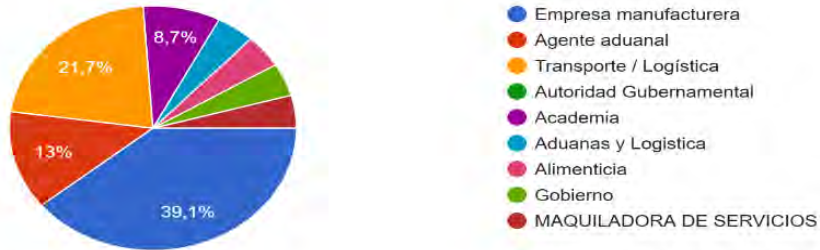
Perfil de la muestra

Total, de respuestas: 23.

Gráfica 1

Rol de la cadena de logística

23 respuestas



Rol en la cadena logística (n = 23):

Empresa manufacturera: **9** (39.1%)

Transporte / Logística: **5** (21.7%)

Agente aduanal: **3** (13.0%)

Academia: **2** (8.7%)

Alimenticia: **1** (4.3%)

Gobierno: **1** (4.3%)

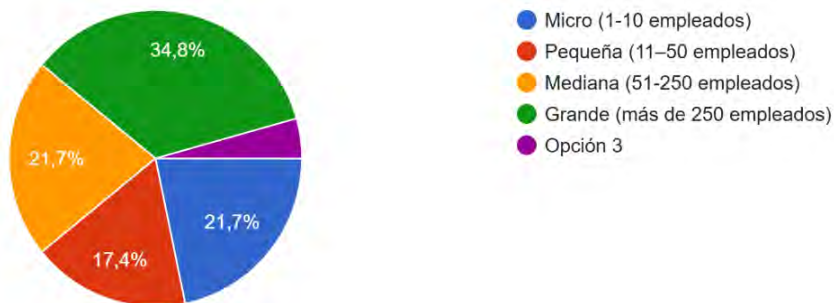
Maquiladora de servicios: **1** (4.3%)

Aduanas y Logística: **1** (4.3%)

Gráfica 2

Tamaño de la empresa

23 respuestas





Tamaño de la empresa (n = 23):

Grande (más de 250 empleados): 8 (34.8%)

Mediana (51–250): 5 (21.7%)

Micro (1–10): 5 (21.7%)

Pequeña (11–50): 4 (17.4%)

Otra / opción residual: 1 (4.3%)

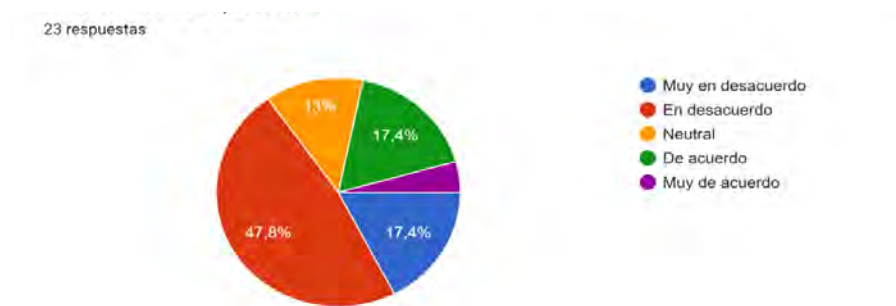
Resultados principales

1.- Percepciones sobre la infraestructura

¿La infraestructura logística actual (carreteras, aduanas, almacenes) es adecuada para exportación?

Gráfica 3

La infraestructura logística actual.



La infraestructura logística actual (carreteras, aduanas, almacenes) es adecuada para las necesidades de exportación.

En desacuerdo: 11 (47.8%)

Muy en desacuerdo: 4 (17.4%)

De acuerdo: 4 (17.4%)

Neutral: 3 (13.0%)

Muy de acuerdo: 1 (4.3%)

Interpretación: 65.2% (En desacuerdo + Muy en desacuerdo) considera que la infraestructura no es adecuada.

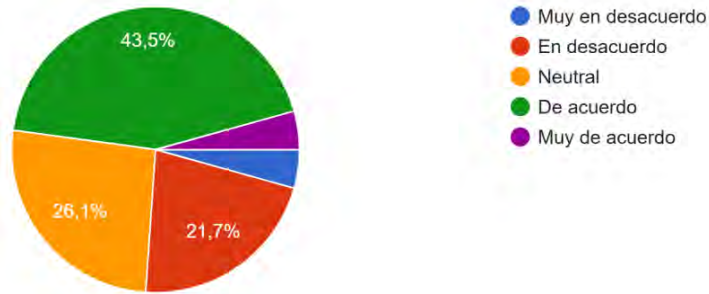
2.- Percepción sobre costos logísticos



Gráfica 4

Costo logístico en la región es competitivo a nivel nacional.

23 respuestas



¿El costo logístico en la región es competitivo a nivel nacional?

De acuerdo: 10 (43.5%)

Neutral: 6 (26.1%)

En desacuerdo: 5 (21.7%)

Muy en desacuerdo: 1 (4.3%)

Muy de acuerdo: 1 (4.3%)

Interpretación: Hay percepción mixta; una parte considera el costo competitivo, pero hay incertidumbre y disensos.

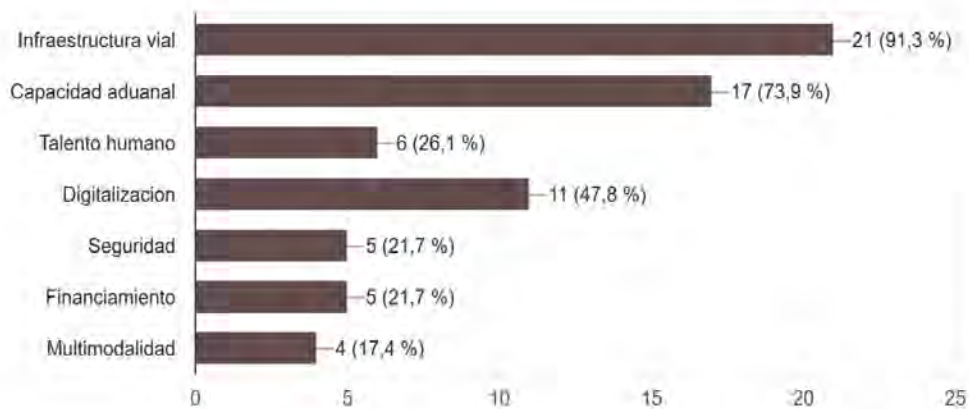
3.- Retos prioritarios (selección múltiple — menciones totales).

Top menciones (ordenadas por número de veces mencionadas):

Grafica 5

Principales retos a resolver.

23 respuestas





Infraestructura vial — 21 menciones.

Capacidad aduanal — 17 menciones.

Digitalización — 11 menciones.

Talento humano / capacitación — 6 menciones.

Seguridad — 5 menciones.

Financiamiento — 5 menciones.

Multimodalidad — 4 menciones.

Lo que nos muestra que la prioridad en resolver es la infraestructura actual seguido de la capacidad aduanal que converse en uno de los beneficios a lo pro por la apertura de un nuevo cruce fronterizo y como punto 3 la digitalización y trazabilidad de la información que se ocupa para el establecimiento de controles y agilidad en su proceso.

4.- Respuestas abiertas — temas y ejemplos

- Temas recurrentes: apertura de cruce fronterizo, mejoras viales puntuales, agilizar tiempos de cruce, acuerdos entre agentes aduanales y autoridades, formación de talento humano, reducción de costos aduanales
- Ejemplos textuales representativos:

“Apertura de nuevo cruce fronterizo.”

“Mejorar la infraestructura.”

“Tiempo de cruce más ágiles y coordinación de procesos.”

“Talento humano, las personas son lo importante para que los proyectos funcionen.”

Análisis e interpretación

1.- Primacía de la infraestructura física y aduanera: la combinación de alta frecuencia de menciones para “infraestructura vial” (21) y “capacidad aduanal” (17), junto con la fuerte percepción negativa sobre la idoneidad de la infraestructura (65.2% en desacuerdo), indica que la prioridad inmediata debe ser invertir en accesos y optimizar la operación aduanera.

2.- Digitalización como palanca de eficiencia: aparece como tercer reto (11 menciones). Esto sugiere que, aun si se ejecutan obras físicas, sin modernizar procesos documentales y de intercambio de datos las mejoras no alcanzarán su máximo efecto.

3.- Talento humano y gobernanza: la mención de capacitación y alianzas (academia–empresa–autoridad) muestra la necesidad de planes de formación y coordinación institucional para sostener mejoras operacionales.



4.- Costos: no homogéneo: aunque casi la mitad percibe competitividad en costos, la mezcla de respuestas indica que los costos no son uniformemente vistos como ventaja competitiva; los problemas de infraestructura y aduanas probablemente generan sobrecostos para algunos actores.

5.- Impacto a corto plazo posible: varias sugerencias apuntan a soluciones de corta ejecución (acuerdos operativos, horarios extendidos, priorización de tramos viales), que pueden ofrecer mejoras visibles dentro de 12 meses si existe coordinación público–privada.

.La prioridad inmediata para mejorar la competitividad regional es la infraestructura vial y la capacidad aduanal. Sin abordar estos puntos, otras intervenciones tendrán impacto limitado.

Digitalizar trámites y procesos es la segunda prioridad transversales (impacto rápido y de bajo costo relativo). Permite reducción de tiempos y errores administrativos.

formación de talento logístico y coordinación tripartita (empresa–autoridad–academia) es necesaria para sostener mejoras. La gobernanza local debe articular roles y recursos.

4.- Acciones de baja complejidad y alto impacto (p. ej. acuerdos para agilizar cruces, mantenimiento focalizado de tramos) pueden mostrar resultados en 6–12 meses.

5.- La muestra (n = 23) es indicativa pero suficiente para priorizar acciones operativas inmediatas; se recomienda ampliar el levantamiento para validar y cuantificar impactos.

Observación final.

Los datos preliminares indican que Agua Prieta presenta una estructura logística incipiente, caracterizada por:

Carencia de centros de distribución estratégicos.

Falta de articulación entre infraestructura productiva y nodos logísticos.

Escasa digitalización de los procesos en las pymes.

Poca presencia de políticas locales orientadas a fortalecer las cadenas de suministro.

No obstante, se identifican ventanas de oportunidad:

Una localización privilegiada para flujos comerciales hacia EE.UU.

Disponibilidad de terreno para el desarrollo de un parque logístico.

Voluntad empresarial para integrar tecnologías de automatización y trazabilidad.

Potencial para desarrollar alianzas academia-industria-gobierno.

La reflexión teórica y práctica apunta a la necesidad de una gobernanza logística territorial que trascienda el enfoque funcionalista de la logística para incorporar criterios de sostenibilidad, inclusión y dignificación del trabajo, en consonancia con los principios del Modelo Educativo del TecNM y los ejes del Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030.



Análisis FODA participativo, con enfoque territorial.

La muestra, conformada por 23 empresas manufactureras y actores institucionales clave de la cadena logística regional, permitió identificar de manera conjunta los factores internos y externos que inciden en el desempeño logístico de Agua Prieta, Sonora.

Fortalezas.

- Ubicación geográfica estratégica en la frontera con Douglas, Arizona, con acceso inmediato al mercado de EE.UU.
- Mano de obra calificada, con experiencia en manufactura y procesos de exportación.
- Relación comercial consolidada con EE.UU., principal destino de las exportaciones locales.
- Oportunidades.
- Nuevo puerto de entrada (garita comercial Douglas–Agua Prieta), que ampliará la capacidad de cruce de mercancías.
- Crecimiento en comercio exterior, con tendencia positiva en exportaciones de manufactura.
- Inversión extranjera en el sector maquilador y de servicios logísticos.
- Debilidades.
- Falta de infraestructura tecnológica, especialmente en procesos de digitalización y trazabilidad logística.
- Procesos burocráticos lentos, que afectan la eficiencia aduanera y logística.
- Escasez de rutas logísticas alternas, lo que genera vulnerabilidad ante bloqueos o saturación de la garita principal.
- Amenazas.
- Incremento de costos aduanales, que reduce la competitividad de las empresas locales.
- Competencia de otros hubs fronterizos más consolidados (Nogales, Ciudad Juárez, Tijuana).
- Inestabilidad política regional, que puede afectar inversiones y la dinámica transfronteriza.



Tabla 1

Este cuadro sintetiza Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la logística regional.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Ubicación geográfica estratégica	Nuevo puerto de entrada	Falta de infraestructura tecnológica	Incremento de costos aduanales
Mano de obra calificada	Crecimiento en comercio exterior	Procesos burocráticos lentos	Competencia de otros hubs fronterizos
Relación comercial con EE.UU.	Inversión extranjera	Escasez de rutas logísticas alternas	Inestabilidad política regional

Conclusiones:

Agua Prieta se encuentra en un momento estratégico para transitar de un modelo de logística reactiva a uno proactivo, integrado y sostenible, capaz de consolidar su vocación industrial y fortalecer su competitividad frente a otros polos fronterizos.

Se recomienda:

Crear un centro logístico regional con enfoque multimodal y servicios integrados.

Impulsar un clúster logístico con participación intersectorial.

Desarrollar programas de formación profesional en logística avanzada con enfoque territorial.

Incorporar la logística como componente clave en los planes de desarrollo regional con un marco ético y ambientalmente responsable.



Referencias bibliográficas:

1. Contreras, L. (2020). *Historia económica de la frontera Sonora–Arizona y el papel de la maquila*. Universidad de Sonora.
2. Estafeta. (2025). *Sucursales en Sonora: Agua Prieta*. Recuperado de <https://www.estafeta.com>
3. General Services Administration. (2023). *Douglas Commercial Port of Entry Modernization Project*. U.S. GSA. Recuperado de <https://www.gsa.gov>
4. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020: Agua Prieta, Sonora*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx>
5. Paquetexpress. (2025). *Sucursales Agua Prieta, Sonora*. Recuperado de <https://www.paquetexpress.com.mx>
6. Secretaría de Economía. (2025). *Exportaciones municipales: Agua Prieta, Sonora, 2024–2025*. Gobierno de México. <https://datamexico.org>



LAS CERTIFICACIONES PARA EXPORTACIÓN DE FRUTOS MEXICANOS

Autor: Suárez-Espinosa, Brenda Crystal

Coautores: Saucedo-García, María Edith; Villalobos-Cortés, Mélica Marel.

Institución de adscripción: División de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Uruapan.

Resumen:

Las certificaciones sobre calidad e inocuidad para la exportación de los alimentos hoy en día son un requisito por parte de los consumidores. México es un referente a nivel mundial por las exportaciones de frutos como el aguacate, sin embargo, existen también otros frutos que se cultivan en el territorio nacional, pero ¿Qué criterios o requisitos deben cumplir estos frutos para que se puedan introducir a los mercados de exportación exitosamente?, el presente artículo expone un estudio analítico-cualitativo en tres ejes: Requisitos y certificados sobre inocuidad en los alimentos, normativa mexicana y esquemas internacionales aplicables en toda la cadena productiva, el objetivo del estudio es realizar un análisis comparativo sobre el marco regulatorio para la certificación de frutos mexicanos, en miras de que los potenciales productores empacadores y otras partes interesadas puedan conocer el esquema básico de cumplimiento de requisitos. Se identifica que existen normas sobre aspectos fitosanitarios y de etiquetado de alimentos que aplican a todo tipo de producto alimenticio, otras normas que dependen del tipo de fruto, requisitos establecidos por la secretaría de economía en México y otros esquemas internacionales aplicables, dependiendo del país importador.

Palabras Clave:

Calidad e inocuidad agroalimentaria, certificaciones, exportación.

INTRODUCCIÓN:

Un producto que cumple con ciertos requisitos nos da confianza de su calidad, en el caso de los productos alimenticios que se cultivan en México, como son los frutos, es indispensable que cumplan con aspectos de calidad e inocuidad para su consumo, pero ¿Qué requisitos deben cumplir estos productos para su venta en el mercado nacional y extranjero?, el artículo tiene como objetivo el realizar un análisis documental en el que se desarrolla un estudio de tipo analítico-deductivo con enfoque cualitativo realizado mediante búsqueda, comparación y análisis de información, sobre el marco normativo regulatorio en materia de frutos para exportación, esto a partir de consultas que fueron realizadas en sitios oficiales gubernamentales y plataformas de



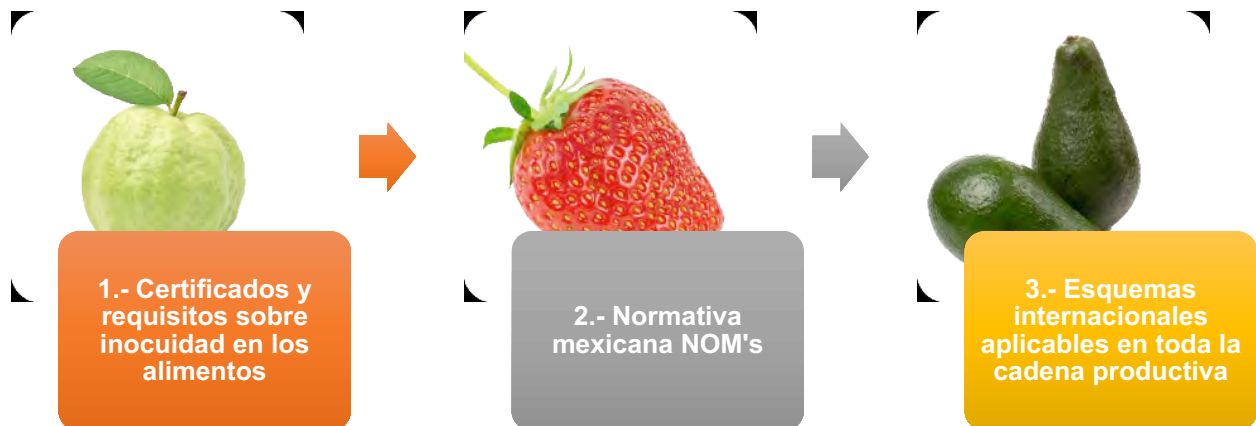
servicios de información y consultoría. Se aborda en primera instancia, el contexto sobre las certificaciones, la inocuidad y seguridad agroalimentaria, posteriormente se presentan los requisitos generales que establece la secretaría de economía en México para poder exportar, así como la normativa mexicana aplicable en la materia, finalmente se expone un compendio de estándares o esquemas internacionales sobre inocuidad y otros rubros establecidos por acuerdos entre países o regiones en el mundo.

METODOLOGÍA:

Se trata de un estudio con enfoque cualitativo-analítico donde, a partir de la información revisada de forma sistemática, ésta se integra para tener una aproximación que responda a la pregunta de investigación, así mismo, se realiza un análisis de tipo inductivo ya que, de los requisitos normativos identificados, éstos hacen referencia a los principales frutos de exportación, sin embargo, se considera esos requerimientos pueden ser aplicables a otros frutos de cultivo nacional. Las etapas para realizar el estudio comprenden tres ejes.

Etapas del estudio

Imagen 1.





DESARROLLO:

¿Qué es una certificación?

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la palabra Certificación consiste en “asegurar la verdad de un hecho”, por lo tanto, certificar es la acción que se lleva a cabo para validar que un producto, proceso o sistema de gestión cumple con los requerimientos de una alguna norma, en este sentido, cuando un producto cumple con requisitos establecidos, se le concede un documento denominado “certificado”, así mismo, el certificado debe especificar al menos la siguiente información: El organismo o quien emite el certificado, fecha de emisión, tipo de certificado, por ejemplo si el certificado se trata sobre la calidad, medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo, manejo higiénico de los alimentos, etcétera, nombre de la empresa u organización quien recibe el certificado, alcance o ámbito de aplicación (si se certifica uno o varios productos, procesos o secciones de una empresa), domicilio de la entidad que recibe el documento, norma o estándar ante el cual se certifica, número de certificado, fecha de inicio y fin del periodo que abarca dicho certificado, sello con firma de quien lo emite, información de contacto de la entidad emisora del certificado.

Imagen 2.

Representación de frutos certificados.



Inocuidad en los alimentos

La inocuidad es un término que se le atribuye a los alimentos y se refiere a la cualidad o característica de que un alimento es “seguro y aceptable”, es decir, que no causan daño a nuestra salud ya que durante su producción se aplicaron medidas de higiene para reducir el riesgo de que los alimentos se contaminen con algún residuo de plaguicida, metales pesados,



microorganismos que pueden enfermar a los humanos y cuerpos extraños en el alimento como espinas, cáscaras, cabellos, partículas extrañas etcétera. (SENASICA, 2016).

Representación de análisis microbiológico en los vegetales.

Imagen 3.



En el caso de los vegetales, algunas medidas preventivas establecidas por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA¹), para los productores y procesadores de alimentos son el poner en marcha sistemas de reducción de riesgos de contaminación, llevar a cabo buenas prácticas agrícolas y el buen uso y manejo de agroquímicos, estas medidas preventivas aplican en los diferentes eslabones de la cadena productiva de los alimentos.

Tabla 1.

Medidas preventivas para la inocuidad en la cadena productiva de los vegetales.

Productores	Acopio	Empaque y proceso	Exportación
Buen uso y manejo de plaguicidas (BUMP)			
Buenas Prácticas Agrícolas*			
Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC)			

1 Entidad mexicana de competencia federal que se encarga de proteger la agricultura nacional a través de la aplicación de medidas de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria (SENASICA, 2025)



Los certificados sobre Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), el organismo acreditado y autorizado para emitirlos es SENASICA, dicho documento se le nombra CFI (Certificado Fitosanitario Internacional) y a nivel global quien se trata de un Certificado Fitosanitario Internacional y quien lo emite es la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) del país importador. El CFI lo exigen los países cuyo producto represente un riesgo fitosanitario. Es muy importante la certificación otorgada por SENASICA a las unidades de producción agrícola, por lo que “tiene la tarea de dar certeza a los mercados internacionales a través del Certificado Fitosanitario Internacional”, (SENASICA, 2020) y este documento lo debe emitir previo cumplimiento de los requisitos establecidos por la ONPF de cada país de destino. La sanidad de los vegetales se protege a través de medidas fitosanitarias, mismas que son establecidas por las leyes, reglamentos y procedimientos establecidos por los países para proteger la vida de las personas, animales y plantas ante cualquier contaminante u organismo patógeno capaz de provocar enfermedades en sus huéspedes.

¿Qué se requiere para exportar frutos desde México?

Según la página oficial de la Secretaría de Economía en México (Economía, 2024), para exportar es necesario considerar algunos aspectos clave como son los tipos de exportación, documentos, trámites y servicios, desarrollar un plan estratégico, identificar la fracción arancelaria a la cual pertenece el producto a exportar (este se puede consultar en la página oficial de la Secretaría de Economía en México), obtener el Certificado de Origen de la mercancía, este documento hace constar el país de origen del producto y lo emite la Secretaría de Economía, quien lo emite son las cámaras de comercio u otros organismos competentes del país exportador, cumplir con regulaciones no arancelarias como pueden ser la cantidad de mercancías a exportar e importar, aspectos de calidad del producto o autorizaciones especiales, medidas contra prácticas de comercio desleales, etiquetado, envase y embalaje, normas técnicas entre otros, abrir una cuenta en la Ventanilla Única de Comercio Exterior Mexicano, preparar y asegurar el embarque a exportar, realizar los trámites aduanales para exportar, llenar el pedimento de exportación y pagar impuestos, llegar a buenos acuerdos comerciales internacionales con los países a donde se desea exportar y cubrir los criterios para exportar vía comercio electrónico.

Además, es necesario reunir los documentos básicos para exportar: Registro Federal de Contribuyentes (RFC), firma electrónica, opinión positiva del cumplimiento de obligaciones fiscales, registro de marca, productos, nombres y patentes ante el IMPI, inscripción ante el Padrón de Exportadores, registro en el Directorio Digital de Exportadores y es recomendable obtener el Distintivo “Hecho en México”; los detalles sobre éstos requisitos se pueden consultar en la página oficial de la Secretaría de Economía en México, además, otros trámites y servicios



básicos para exportar son el registro ante el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), certificado sobre la Protección de Riesgos Sanitarios emitido por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), certificado de origen, documentos de transporte (emitidos por las empresas porteadoras o quienes se encargarán de la logística para la entrega del producto al punto de destino) y los documentos que avalen el cumplimiento de las regulaciones y restricciones no arancelarias como las regulaciones de etiquetado, embase y embalaje, regulaciones sanitarias, entre otras.

Cumplimiento con las normas oficiales mexicanas en materia de vegetales

Según los reportes estadísticos de INEGI (2025), durante el periodo de enero – julio de 2025, México presentó un incremento en las exportaciones de aguacate (59.6%) y de frutas y frutos comestibles (31.8%), lo que pone en manifiesto la capacidad de México para la producción y comercialización de frutos, sin embargo, es necesario cumplir con el marco normativo mexicano aplicable que regulan la calidad, sanidad, empaque, etiquetado y otros aspectos regulatorios determinados por el país importador.

En el marco normativo mexicano, las normas de competencia para el sector frutícola lo establecen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), entre las principales se enlistan las siguientes:

- NOM-008-FITO-1995, establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la importación de frutas y hortalizas.
- NOM-051-SCFI/SSA1-2010, establece especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados, información comercial y sanitaria
- NOM-066-FITO-1995, establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos del aguacate para exportación y mercado nacional.
- NOM-075-FITO-1997, establece las especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta.
- NOM-076-FITO-1999, establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el sistema preventivo y dispositivo nacional de emergencia contra las moscas exóticas de la fruta.
- NOM-188-SCFI-2012, establece las especificaciones que debe cumplir el mango Ataulfo
- NOM-030-SCFI-2006, establece las especificaciones e información comercial necesaria para el etiquetado de los productos.
- NOM-128-SCFI-1998, establece requisitos para la información comercial – etiquetado de productos agrícolas -aguacate.



- NMX-FF-134-SCFI-2018, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca, establece especificaciones que aplican a los frutos obtenidos de las especies y variedades comerciales que deben de suministrarse frescas al consumidor después de su acondicionamiento y envasado.
- NMX-FF-016-SCFI-2016, Productos no industrializados para uso humano-fruta fresca-aguacate Hass-especificaciones.

Las normas NMX son de observancia voluntaria mientras que las NOM son obligatorias.

Cada una de las normas anteriores puede tener normas adicionales u otras relacionadas, dependiendo de su tipo y destino de exportación, es decir, cada país de destino puede tener sus propios esquemas o requisitos a cumplir.

Por otra parte la Ley Federal de Sanidad Vegetal publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1994 y actualizada en 2022 tiene como objetivo “regular y promover la sanidad vegetal, así como la aplicación, verificación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación física, química y microbiológica en la producción primaria de vegetales” así mismo promueve la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas y el uso y manejo adecuado de insumos utilizados en el control de plagas.

Otros esquemas y certificaciones internacionales

En materia de sanidad vegetal, existen organizaciones internacionales y regionales, así como acuerdos que establecen, reconocen y aplican medidas fitosanitarias basadas en normas de varios países: La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), Organización Mundial de Comercio (OMC), Organización Norteamericana de Proyección a las Plantas (NAPPO), Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). En el caso de México, atendiendo a la Ley Federal de Sanidad Vegetal, en su Artículo 7 fracción IV propone la adhesión a los tratados internacionales que sean de interés para el país en materia de sanidad vegetal (Camacho y Sillas, 2016).

Según señala Agustín García Rechy del Consejo Empresarial Mexicano de Comercio Exterior, Inversión y Tecnología (COMSE, 2025), la autorización de los protocolos de sanidad suele ser tardados, incluso años, por lo que se considera “un proceso de paciencia y de presencia en general”, ya que en algunos casos implica la certificación tanto de huertos como de empaques. Existen también, otros esquemas o estándares certificables, los cuales son desarrollados por los diferentes países para tener estándares que establecen criterios para evaluar la calidad e inocuidad en los frutos.



Esquemas internacionales para las certificaciones sobre sanidad e inocuidad alimentaria.

Nombre	Alcance
Global GAP	Inocuidad alimentaria de productos agrícolas frescos más utilizado en el mundo. Proporciona una serie de “mejores prácticas” para producción de frutas frescas y hortalizas frescas.
FairTrade	FairTrade International es un sistema de certificación que representa un “negocio justo”, basado en acuerdos entre productores y consumidores. Su objetivo es garantizar a los consumidores que el producto cumple con estándares sociales, económicos y medioambientales.
GFSI	Global Food Safety Initiative (GFSI), se trata de una estructura para evaluar los estándares de calidad e inocuidad alimentaria, este esquema proporciona mejoras continuas en los sistemas de gestión de seguridad alimentaria a fin de garantizar la confianza en la entrega de alimentos inocuos y seguros a los consumidores de todo el mundo.
HACCP	El sistema HACCP, Hazard Analysis and Critical Control Points, o análisis de peligros y puntos críticos, se basa en un sistema de ingeniería conocido como Análisis de Fallas, Modos y Efectos, donde en cada etapa del proceso, se observan los errores que pueden ocurrir, sus causas probables y sus efectos, para entonces establecer el mecanismo de control. (OPS, 2017)
CODEX	El Codex Alimentarius (que en latín significa ley o código de alimentos) es un compendio de normas alimentarias aceptadas internacionalmente y presentadas de modo uniforme. Los textos de Codex sobre inocuidad de los alimentos son una referencia para la solución de diferencias comerciales en la OMC. Contiene también códigos de prácticas, directrices y otras medidas recomendadas para ayudar a alcanzar los fines del Codex Alimentarius. (Codex Alimentarius, 2024)
PRIMUS GFS	PrimusGFS es un estándar de auditorías que está homologado y completamente reconocido por GFSI (Iniciativa Global de Inocuidad Alimentaria) que cubre ambos Buenas Prácticas Agrícolas (GAP) y Buenas Prácticas de Manufactura (GMP), así como el Sistema de Administración de Inocuidad Alimentaria (FSMS). El esquema Primus GFS cubre el alcance de la cadena de proveedores pre y post cosecha y



proporciona un enfoque integrado a la cadena de proveedores. (Azzule Systems, 2020)

BRCGS Brand Reputation Compliance Global Standards, considerada una organización líder en protección de marcas y consumidores, emitida a través de una red global de organismos de certificación acreditados. Las normas BRCGS garantizan la calidad, seguridad y cumplimiento de criterios operativos, así como el cumplimiento de obligaciones legales para brindar protección al consumidor final, estas normas son un requisito fundamental para los principales minoristas, fabricantes y organizaciones de servicios alimentarios. (Dicentra, 2024)

FSMA La ley FSMA o Food Safety Modernization Act, aplica específicamente a Estados Unidos y a todas las empresas que producen, transportan o venden alimentos dentro del territorio de Estados Unidos de América.

IFS International Featured Standards, norma con la cual se audita a empresas fabricantes de alimentos o envasadoras de productos alimentarios para garantizar la transparencia durante todo el proceso de elaboración del alimento. Esta norma permite acceder a mercados como Reino Unido, Alemania, Francia e Italia. (BTSA, 2024)

FSSC 22000 Esquema basado en ISO 22000, especifica las pautas a seguir para implementar un sistema de gestión para asegurar la inocuidad de los alimentos. Respaldado por la Confederación Europea de Industrias de Alimentación y Bebidas y aprobado por la Global Food Safety Initiative y la Iniciativa Mundial de Seguridad Alimentaria (BTSA, 2024)

**México
Calidad
Suprema** Se trata de un documento llamado sello “México Calidad Suprema” para garantizar la calidad e inocuidad de los productos agroalimentarios de origen mexicano, quien lo emite es un organismo de certificación administrado por el sector público e integrado por 32 asociaciones de productores en todo el país. (SADER, 2017)

SMETA Es un estándar que establece un protocolo de auditoría denominado auditoría de Comercio Ético para miembros de Sedex (Sedex es una organización de membresía global dedicada a impulsar mejoras en las prácticas comerciales éticas y responsables en las cadenas de suministro global (EuroFinds, 2024)



NO GMO

Por sus siglas en inglés (Genetically Modified Organism), el certificado garantiza que los ingredientes del producto alimenticio no están modificados genéticamente, esto abarca desde la semilla, crecimiento, cosecha, transporte, recolección, almacenamiento en el canal de mercado. (BTSA, 2024)

CONCLUSIÓN:

El cumplimiento de los requisitos establecidos en alguna normativa implica conocimiento del producto o proceso a certificar así mismo es necesario conocer el documento de referencia ante el cual se comparará o someterá a prueba dicho producto, el marco legal aplicable puede llegar a ser también muy amplio. El análisis expuesto permitió el logro del objetivo del estudio, además, se identificó que es necesario tener claridad sobre el mercado de exportación de destino, ya que si bien, existen las normas oficiales mexicanas que aplican a todo producto a exportar, existen también otras específicas para cada tipo de fruto, así mismo, el país de destino puede exigir uno o varios esquemas de certificación, por ejemplo para exportar a Estados Unidos, es necesario cumplir con las regulaciones de su Departamento de Agricultura (USDA) o en el caso de la región europea se debe cumplir con las regulaciones de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Se concluye también, que otro aspecto importante de las certificaciones son los costos asociados tanto para el establecimiento de controles como para el asesoramiento, capacitación y auditorías, cabe señalar que esto representa un reto para los pequeños productores, ya que los costos varían desde los 5 mil pesos aproximadamente por paquetes de asesoría, registros, capacitaciones, determinación de puntos críticos de control, implementación de buenas prácticas, optimización de procesos, auditorías, etcétera hasta los 15 mil pesos mensuales (NF, 2025), esto dependiendo del tipo de servicio, alcance y tipo de la auditoría, procesos (tamaño de la empresa) entre otros. Entonces, se considera necesario que se fortalezcan los apoyos gubernamentales, principalmente para la capacitación y asesoramiento sobre criterios de cumplimiento.

DISCUSIÓN:

El sector agroindustrial se considera una de las fortalezas que tiene México al adaptarse exitosamente a las exigencias regulatorias de los mercados extranjeros y al cumplimiento de tratados comerciales, tal es el caso del aguacate, donde México es el principal país exportador y sus procesos de comercialización han tenido una favorable evolución y consolidación en contextos internacionales, para lo cual, los productores buscaron asociarse con diferentes



actores sociales y gobierno logrando la conformación de la APEAM² durante la década de 1990-2000 (Suárez y Bedolla, 2023). Actualmente, en lo que respecta a otros frutos, datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2025), señalan que se expidieron más de 49 mil certificados de exportación para productos agrícolas y se exportaron más de 138 mil toneladas de frutos como el carambolo, guayaba, mango, higo, pitahaya, dato reportado a julio de 2025, “abriendo protocolos sanitarios con países como Paraguay, Nicaragua, Canadá, Costa Rica y China”, sin embargo, el impacto socioambiental derivado de la agroindustria es una oportunidad de desarrollo para la competitividad de los frutos mexicanos.

2 APEAM. Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Azzule Systems. (2020). Documentos de PrimusGFS versión 3.2. [Sitio web] <https://azzule.com/primusgfs/>
2. BTSA (2022). Los principales certificados de la industria alimentaria [Sitio web] <https://www.btsa.com/los-principales-certificados-alimentarios/>
3. Camacho, C., Sillas, R. (2016). Requisitos Fitosanitarios para la Exportación de Vegetales por producto y destino. [Documento de la Dirección de Regulación Fitosanitaria SENASICA/SAGARPA]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/276858/5.-REQUISITOS_FITOSANITARIOS_DE_EXPORTACION_POR_PRODUCTO_Y_PAIS_DESTINO_2016.pdf
4. Codex Alimentarius. (2024) Normas Internacionales de los Alimentos. [Sitio web] <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/>
5. CONSE (2025). Procesos regulatorios retrasan certificaciones. El Porvenir.mx. <https://elporvenir.mx/economico/procesos-regulatorios-retrasan-certificaciones/573278>
6. Dicentra Global Certification (2024). ¿Cuáles son los beneficios de la certificación BRCGS? [Sitio Web] <https://dicentragc.com/brcgs-certification>
7. EuroFinds (2024) .Auditoria SMETA. [Sitio web] https://www.eurofins.es/assurance/bienes-de-consumo/auditoria-smeta/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwzva1BhD3ARIsADQuPnWwXC8xwpTFIVWTj-CHMUoGICmY9o6Erv1TxpUz90qdKrVfu2_vSWcaAt5nEALw_wcB
8. INEGI (2025). Boletín de indicador 364/25. Balanza Comercial de Mercancías de México (BCMM). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2025/comext_o/balcom_o2_025_07.pdf
9. Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV), Reformada, Diario Oficial de la Federación [D.O.F], 11 de mayo de 2022, (México). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSV.pdf>
10. Leonardo.AI (2024). APP.Leonardo [Generador de imágenes con inteligencia artificial] <https://app.leonardo.ai/image-generation>
11. NF (2025). Consultoría, Normativity and Food. Lista de precios. <https://consultoria-inocuidad-alimentaria.webnode.mx/precios/>
12. Organización Panamericana de la Salud OPS (2017). ANÁLISIS DE PELIGROS Y PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL (HACCP). Washington, D.C.: The Pan American



- Health Organization (PAHO). [Sitio web]
<https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2017/food-safety-hacpp-cha-analisis-peligros-puntos-criticos-control.pdf>
13. SADER (12 de enero de 2016). México Calidad Suprema el sello de los mexicanos. [Sitio de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural]
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-calidad-suprema-el-sello-de-los-mexicanos?idiom=es>
14. SADER (10 de septiembre de 2025) Carne, frutas, productos pesqueros y acuícolas mexicanos conquistan el mundo: exportaciones a 65 países.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/carne-frutas-productos-pesqueros-y-acuicolas-mexicanos-conquistan-el-mundo-exportaciones-a-65-paises>
15. SENASICA (05 de octubre de 2016). Una definición clara de inocuidad. [Sitio del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria]
<https://www.gob.mx/senasica/articulos/una-definicion-clara-de-inocuidad-70674?idiom=es>
16. SENASICA (05 de febrero de 2020). Exportación de productos Agrícolas. [Sitio del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria].
<https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/exportacion-de-productos-agricolas-149565>
17. SENASICA (2025). Página oficial. <https://www.gob.mx/senasica/que-hacemos>
18. Suárez-Espinosa, B. C., Aguirre-Escalera, R., Chávez-Esquivel, G., & Arévalo-Carrasco, F. J. (2019). Procesos de calidad en exportación de aguacate de Uruapan Michoacán a Estados Unidos. *Tecnología, Ciencia Y Estudios Organizacionales*, 3(5), 36–55.
<https://doi.org/10.56913/teceo.3.5.36-55>
19. Suárez-Espinosa, Brenda C. y Bedolla-Valdez, Zaira (2023). Origen de la exportación del aguacate al mercado internacional. *Revista C+Tec Divulgar para Transformar*. ISSN: 2992-8737. <https://ctecicti.com/index.php/CTec/article/view/143/12>



COMPRESIÓN FÍSICA DEL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS MARINOS POROSOS Y SU APLICACIÓN INGENIERIL

Autor: Emmanuel Arcos Hernández

Coautores: Enrique García Trinidad y Manuel Peralta Gutiérrez

Institución de adscripción: Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan, TECNM, División de Ingeniería

Correo electrónico de contacto: emmanuel.a.h@huxquilucan.tecnm.mx

Resumen:

En este trabajo se presenta un análisis de la respuesta dinámica de un suelo poro-elástica inducida por ondas largas de agua. Para ciertas combinaciones de los parámetros físicos del suelo y del oleaje la presión de poro tiende a cero. En estas condiciones se puede identificar la profundidad de inestabilidad de suelo. Este fenómeno ha sido estudiado ampliamente en la literatura especializada en variables físicas, siendo un tanto complicado identificar cuáles son las variables dominantes y que cambian significativamente la presión de poro, por lo que la contribución del presente trabajo es hacerlo de forma adimensional para obtener parámetros adimensionales que agrupan las variables físicas del suelo y del oleaje. Los resultados muestran que las ondas largas presentan una mayor presión en el poro que ondas cortas. La frecuencia, la permeabilidad, porosidad y módulo de corte son otras variables que se deben tomar en cuenta para el desplantamiento de estructuras seguras. El presente modelo matemático se validó con resultados reportados en la literatura especializada y por medio de una solución numérico obteniendo una buena aproximación, en ambos casos.

Palabras clave: Licuefacción, Modelo matemático, Oleaje, Suelo poro-elástico, Adimensionalización.

Introducción:

El fenómeno de la interacción del oleaje con el fondo marino ha atraído la atención de ingenieros marítimos y geotécnicos en los años recientes. Comprender los mecanismos y procesos del problema de la interacción oleaje-suelo marino, es particularmente importante para el diseño de las cimentaciones de estructuras marítimas cuando éstas están sujetas a la hidrodinámica de oleaje, con alto contenido energético. Las condiciones de flujo alrededor de las estructuras, no solo afectan las fuerzas del oleaje que actúan sobre éstas, sino también pueden desarrollarse inestabilidades en el suelo del fondo marino (Lundgren et al., 1989).



En las décadas pasadas, se han hecho esfuerzos considerables, dedicándose a estudiar el fenómeno de interacción oleaje-fondo marino-estructuras. La razón, de incremento en el interés de estudiar este fenómeno es que muchas estructuras costeras (tales como paredes verticales, marinas, columnas de plataformas petroleras, tuberías, rompeolas, entre otras.) han presentado daños por la respuesta del suelo marino inducida por el oleaje y no necesariamente por deficiencias constructivas.

Imagen 1.

Inestabilidad de cimentaciones de plataformas petroleras.



Se muestra un ejemplo de inestabilidad de cimentaciones en plataformas petroleras, situada en el Golfo de México la cual se inclinó peligrosamente. El hundimiento de la plataforma petrolera fue causado por una combinación de factores, siendo uno de ellos la inestabilidad del suelo marino, dando como resultado el ladeo y hundimiento en el suelo marino lo que resalta la importancia del buen diseño y cálculo para estructuras marinas y que son aspectos fundamentales para garantizar la seguridad, estabilidad, funcionalidad de estas estructuras en entornos marinos inestables. Un enfoque principal en el proceso es para prevenir hundimientos, proteger la integridad estructural y promover prácticas operativas seguras en la industria petrolera.

Actualmente existen muchas necesidades ingenieriles, nuevos requerimientos complejos en el análisis de la respuesta del suelo del mar para el diseño y construcción de anclajes seguros (Summer et al., 2011) para la estabilidad de conductos de petróleo que transportan el hidrocarburo desde aguas profundas hasta aguas someras, el tubo metálico es diseñado para resistir la corrosión y el desgaste, está recubierto con materiales protectores que pueden ser de alquitrán, epoxi, polietileno, o una combinación de estos materiales. Formando parte de la



extensa red de oleoductos y gasoductos en Estados Unidos, este gasoducto representa la importancia del país como centro de producción y consumo de energía. Ingenieros han considerado cuidadosamente factores como el diámetro, el grosor de la pared y la topografía submarina al diseñar y construir esta infraestructura asegurando su capacidad para manejar eficientemente la presión y el flujo de gas. La instalación de este gasoducto se lleva a cabo con precisión superando obstáculos naturales en el fondo marino mediante técnicas especializadas de tendido y anclaje.

Imagen 2.

Oleoducto anclado en el fondo marino.



Los anclajes deben ser seguros para asegurar que al presentarse la licuefacción del suelo el oleoducto no se mueva con el mismo movimiento del oleaje o cuando se presentan corrientes marinas. Para el diseño de cimentaciones seguras se requiere entender el comportamiento del fenómeno de licuefacción que a continuación se describe.

Licuefacción de suelos marinos: El suelo marino es considerado como un medio poroso saturado o parcialmente saturado, (contiene burbujas de aire) y puede ser cohesivo o no cohesivo. Desde una perspectiva formal, la licuefacción de un suelo no-cohesivo, es la transformación del suelo en estado sólido a un estado licuado, como una consecuencia del incremento de la presión de poro y la reducción de los esfuerzos efectivos, cuando este fenómeno se presenta, el suelo pierde sus fuerzas estructurales. La licuefacción se presenta cuando el oleaje se encuentra en un valle, en ese momento se lleva a cabo una descompresión instantánea del suelo marino y por lo tanto los esfuerzos efectivos tienden a cero.

El principal factor que causa el fenómeno de la licuefacción en el medio granular, se debe al crecimiento excesivo de la presión de poro (P_s) y la reducción de los esfuerzos cortantes (τ) y



efectivos (σ'_z). Existen dos mecanismos causantes de la acumulación de la presión excesiva en el poro, 1) cargas cíclicas debidas a un evento sísmico y 2) cargas dinámicas oscilantes del oleaje.

El estudio del fenómeno de la licuefacción está ligado a la comprensión de los siguientes fenómenos:

1. Mecanismos del suelo asumiéndolo seco.
2. El comportamiento del suelo completamente no drenado, saturado, considerando que no existe aire atrapado.
3. La condición de un suelo parcialmente saturado, sin drenar, tomando en cuenta la compresibilidad de la mezcla aire-agua en el poro; esta condición se presenta cuando existen burbujas de aire atrapadas.

Para determinar el potencial de licuefacción (competencia entre esfuerzos efectivos normales y la presión de poro), la literatura especializada, sugiere considerar la influencia que tiene la compresibilidad del fluido, el material sólido y la permeabilidad de la matriz porosa. La compresibilidad de la mezcla agua-aire en el poro genera una contracción del volumen de la masa, esto causa un incremento ligero de la presión en el poro y a su vez un suave decremento del esfuerzo efectivo y de la resistencia al corte.

En el caso de una dilatación del suelo, la compresibilidad de la mezcla agua-aire en el poro causa un suave decremento de la presión en el poro y un ligero crecimiento del esfuerzo efectivo y de la resistencia al corte. La pérdida de resistencia de carga del suelo, debida al tipo de presión que se presenta, puede generar inestabilidades en las cimentaciones de las estructuras marítimas, éstas pueden ser de dos tipos, por asentamiento y por asentamiento y corrimiento. Los órdenes de magnitud de los desplazamientos en estructuras reales son del orden de metros (Lundgren et al., 1989).

Fundamentos teóricos:

Los trabajos pioneros en el estudio de los mecanismos que se presentan en materiales sujetos a cargas cíclicas, son la teoría poro-elástica de (Biot, 1941). y la ecuación de (Verruijt, 1969), estos investigadores desarrollaron tres teorías. 1) Teoría cuasi-estático (QS) la mezcla del fluido entre el poro y suelo se considera compresible, pero las aceleraciones relativas entre el fluido y el suelo se ignoran, esta hipótesis conduce a la ecuación de consolidación de biot, en la cual los términos inerciales asociados con la masa del suelo y el agua del medio poroso no son tomados en cuenta, 2) Aproximación parcialmente dinámica ($u-p$) las ecuaciones acopladas de flujo y deformación, consideran la aceleración de la masa del suelo pero no la aceleración relativa del



agua en el poro (Zienkiewicz et al., 1980), y 3) teoría completamente dinámica (FD) en este caso las ecuaciones acopladas de flujo y deformación, son formuladas del tal forma, que involucran la aceleración relativa de la masa del suelo y del fluido en el medio poro-elástico. Basadas en estas teorías, se desarrollaron modelos analíticos desde un punto de vista de la hidráulica marítima, a partir de la de década de los 70's, para caracterizar la inestabilidad de un fondo marino, Yamamoto et al. (1978) usó teoría lineal del oleaje para estudiar la estabilidad del suelo granular isotrópico, poro-elástico, por otro lado Groot et al. (2006), identificó que la inestabilidad del suelo marino no es solo por grandes deformaciones también podría presentarse licuefacción por pasos sumándose deformaciones pequeñas del suelo marino y Arcos et al. (2017) cálculo el potencial máximo de licuefacción formulando el modelo matemático como un problema de valores propios e identifico la profundidad máxima de licuefacción del suelo marino. Debido a los requerimientos científicos otros trabajos se enfocan en modelos numéricos, Jeng et al. (2010) estudiaron la respuesta del suelo marino (presión de poro, esfuerzos efectivos y esfuerzos cortantes) afectado por una carga combinada oleaje-corriente marina, los resultados muestran el efecto que tiene la velocidad de la corriente marina en la respuesta del suelo marino poro-elástico.

Posteriormente Cha et al. (2011), obtuvieron numéricamente el potencial de licuefacción, en un fondo marino poroso. Otros trabajos se enfocan en estudiar el suelo marino asumiendo que éste está formado por varias capas con características físicas diferentes. Por otro lado, Cheng et al. (2020), estudiaron numéricamente la interacción de la rotura de oleaje con rompeolas compuesto y su efecto en el suelo marino. Otros trabajos se enfocan en realizar los trabajos usando experimentación, en esta dirección Summer et al. (2011) demostraron que las rocas que sujetan las líneas de tuberías submarinas, son estables bajo el efecto de la carga hidrostática de ondas muy largas, pero pueden ser inestables al exponerse al movimiento del suelo licuado. Además, Liu et al. (2011) desarrollaron estudios paramétricos, experimentales para investigar los efectos de la longitud y periodo del oleaje, compresibilidad del fluido en el poro, permeabilidad del suelo y rigidez del medio granular deformable, los resultados fueron comparados con tres criterios distintos de licuefacción momentánea. Otros autores como Qibo et al. (2020) describieron un estudio experimental realizado para investigar cómo las olas irregulares afectan las presiones de poro alrededor de un mono pilote en el lecho marino. El mono pilote es una estructura utilizada en ingeniería costera para soportar estructuras como plataformas petroleras o parques eólicos marinos. Los investigadores realizaron pruebas en un canal de ondas utilizando cinco tipos diferentes de oleaje irregular. Descubrieron que, a medida que la altura de las olas aumentaba, también lo hacía la presión del agua alrededor del mono pilote. Sin embargo, encontraron que la presión máxima del agua en el interior del suelo marino disminuía a medida que la profundidad



aumentaba. Esto sugiere que cómo se distribuye la presión del agua cambia según dónde se ubique el mono pilote y que tan profundo se encuentre del lecho marino. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para el diseño de estructuras marinas y la ingeniería costera. Entender cómo el oleaje irregular afecta las presiones de poro puede ayudar a diseñar estructuras más resistentes y seguras, reduciendo los riesgos de daños causados por las olas y mejorando la durabilidad de las instalaciones marinas. Todos estos trabajos analizan la respuesta del suelo incluyendo variables de oleaje y suelo marino, los estudios los realizaron en variables físicas. El presente trabajo se obtiene una solución analítica adimensional que incluyen combinaciones de parámetros del oleaje y el suelo marino, logrando una mejor comprensión de los mecanismos de licuefacción en términos de las variables físicas dominantes y que se deben de tomar en cuenta para desplantar estructuras seguras en el fondo del océano.

Objetivo del trabajo:

Comprender los mecanismos de la licuefacción de un suelo marino poroso y deformable usando métodos matemáticos avanzados

Planteamiento del problema:

La teoría de consolidación de Biot se fundamenta en las siguientes consideraciones:

1. El material es isotrópico.
2. Existe linealidad en la relación esfuerzo-deformación.
3. Las deformaciones volumétricas son pequeñas.
4. El agua puede contener aire atrapado.
5. El flujo de agua que atraviesa el medio poroso obedece a la ley de Darcy.

Tomando en cuenta lo arriba señalado, las ecuaciones de equilibrio estático, (Biot. 1941) son las siguiente

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0 \quad (1),$$

y

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial z} = 0 \quad (2).$$

Donde los ejes coordenados son x y z , P_s es la presión de poro, σ y τ son los esfuerzos totales y cortantes, respectivamente.

A partir de las ecuaciones estáticas de Biot, [4] propuso las ecuaciones dinámicas considerando la relación $\sigma = \sigma' + P_s$ establecida por [3], donde σ' es el esfuerzo efectivo total, obteniendo las siguientes expresiones



$$\frac{\partial \sigma'x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{-\partial P_s}{\partial x} + \rho \frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} \quad (3),$$

y

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma'z}{\partial z} + \rho g = \frac{-\partial P_s}{\partial z} + \rho \frac{\partial^2 w_s}{\partial t^2} \quad (4).$$

En las ecuaciones (3) y (4) la densidad media del fondo marino está dada por la siguiente relación $\rho_f n + \rho_s(1 - n)$, donde ρ_f es la densidad del fluido, n es la porosidad, ρ_s es la densidad del sólido, en las mismas ecuaciones $\sigma'x$ y $\sigma'z$ son los esfuerzos efectivos en dirección x y dirección z , respectivamente, g es la aceleración de la gravedad y las variables u_s y w_s son los desplazamientos del suelo en dirección horizontal y vertical.

Considerando deformaciones lineales, los esfuerzos efectivos se relacionan con las deformaciones mediante la ley de Hooke, en la forma siguiente

$$\sigma'x = 2G \left(\frac{\partial u_s}{\partial x} + \nu \frac{\epsilon_s}{1-2\nu} \right) \quad (5),$$

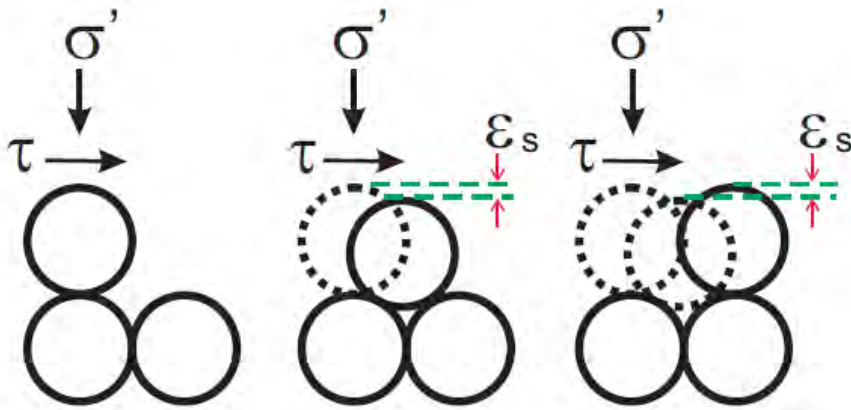
$$\sigma'z = 2G \left(\frac{\partial w_s}{\partial z} + \nu \frac{\epsilon_s}{1-2\nu} \right) \quad (6),$$

$$\tau_{xz} = G \left(\frac{\partial u_s}{\partial z} + \frac{\partial w_s}{\partial x} \right) \quad (7),$$

y

$$\epsilon_s = \frac{\partial u_s}{\partial x} + \frac{\partial w_s}{\partial z} \quad (8).$$

Donde ν es la razón de Poisson y ϵ_s es la deformación volumétrica que se debe a que los granos son impulsados por las fuerzas verticales y horizontales debidas al oleaje, que ocasiona un reacondamamiento entre granos, su representación física se muestra en la Figura 3.



Contracción y dilatación volumétrica debido al reacondamamiento del sedimento

En la misma figura se observa que el valor de la deformación volumétrica ϵ_s es función de los esfuerzos cortantes τ y los esfuerzos efectivos σ' .



Sustituyendo las ecuaciones (5)-(8) en (3) y (4) se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales

$$G\nabla^2 u_s + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} = \frac{-\partial P_s}{\partial x} + \rho \frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} \quad (9),$$

$$G\nabla^2 w_s + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} = \frac{-\partial P_s}{\partial x} + \rho \frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} \quad (10),$$

y

$$k_s \nabla^2 P_s - \gamma_w n \beta \frac{\partial P_s}{\partial t} + \rho_f k_s \frac{\partial^2 \varepsilon_s}{\partial t^2} = \gamma_w \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} \quad (11).$$

donde el término β corresponde a la compresibilidad del agua en los poros y se representa como

$$\beta = \left(\frac{1}{K_f} + \frac{(1-S_r)}{P_{w0}} \right) \quad (12).$$

donde K_f es el modulo de compresibilidad del agua en los poros, S_r equivale al grado de saturación del fondo marino, P_{w0} es la presión absoluta estática. En el presente trabajo se usa el modelo matemático previamente explicado para el cálculo de la presión de poro como se explica a continuación.

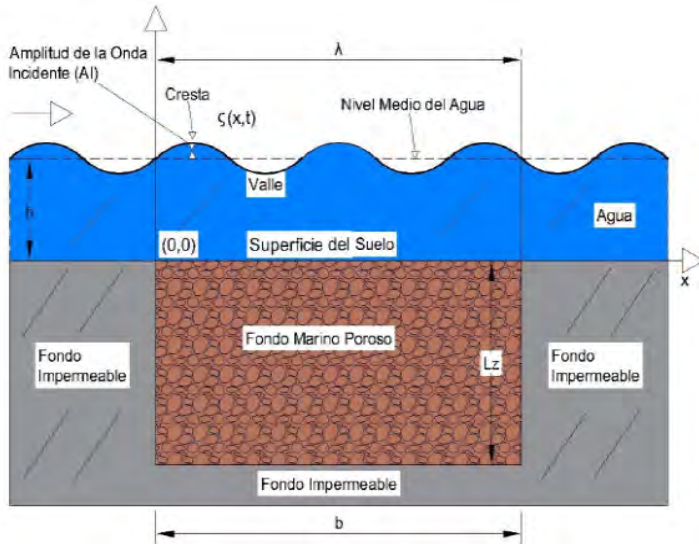
Modelo físico en estudio:

En ésta el eje z es positivo en el sentido vertical, con origen en la interfaz agua del mar-medio poro-elástico y el eje horizontal x es positivo hacia la derecha. En este trabajo se considera que el oleaje incidente corresponde a ondas largas lineales de longitud λ y amplitud A_I . El oleaje se propaga de izquierda a derecha sobre un suelo poroso de profundidad semi-infinita. La profundidad media y uniforme del agua es h . En el modelo físico, el medio poroso y el suelo impermeable se identifican por regiones café (medio poroso) y grises (suelo impermeable), respectivamente. Se asume que el suelo poroso es un medio poroso deformable y que está compuesto de una mezcla de tres fases. Una fase sólida formada por el medio granular, una fase líquida que ocupa la mayor parte del espacio poroso y una fase gaseosa que a veces ocupa una pequeña porción del espacio poroso. El medio granular y el fluido en el poro (incluyendo tanto el líquido como el gas) pueden considerarse juntos como un medio compresible.



Imagen 3.

Vista en perfil del modelo físico en estudio.



La deformación del suelo marino se lleva a cabo por la competencia entre la presión de poro y el esfuerzo efectivo del suelo marino y su análisis se lleva a cabo mediante las ecuaciones de Biot [2] y Zienkiewics [4]. A continuación, se presentan estos modelos matemáticos en su forma adimensional.

Metodología aplicada:

La Aproximación (u-p), para medios poro-elásticos puede reducirse a un problema de valores en la frontera, asumiendo que las variables dependientes tengan una oscilación armónica, con frecuencia igual a la del oleaje, en estas condiciones las ecuaciones de gobierno transitorias del suelo marino pueden plantearse como un problema de valores de frontera lineal, Zienkiewicz et al (1980). En este contexto y combinando las ecuaciones (9)-(11) se obtiene una ecuación diferencias en términos de la presión de poro. Para la determinación de la presión del poro del medio permeable se lleva a cabo usando las ecuaciones en su forma adimensional como sigue,

$$\frac{d^4 \hat{p}_s}{dz^4} + i\beta_0 \frac{(\Gamma - \psi\alpha - \alpha)}{(1+\psi)} \frac{d^2 \hat{p}_s}{dz^2} - i\beta_0^2 4\pi^2 \frac{\Gamma}{(1+\psi)} \hat{p}_s \quad (13).$$



Donde los parámetros adimensionales son $\beta_0 = Lz/\lambda$, Lz es la profundidad de licuefacción, λ es la longitud de onda, $\Gamma = \frac{\gamma_w \omega \lambda^2}{Gk_s}$, donde G es el modelo de corte del suelo, ω es la frecuencia del oleaje y k_s es la permeabilidad de Darcy del suelo poroso γ_w es el peso específico del agua, $\psi = \frac{1}{1-2\nu}$ donde ν es la relación de Poisson, $\alpha = \frac{\gamma_w n \beta \omega \lambda^2}{k_s}$, donde, n es la porosidad del suelo, β es la compresibilidad del suelo.

La Ecuación (13) es una ecuación diferencial lineal de cuarto orden las cuales necesita cuatro condiciones de frontera para poderse resolver y son las siguientes condiciones de frontera

$$\hat{p}_s = 1\bar{z} = 0 \tag{14}$$

$$\frac{d\hat{p}_s}{d\bar{z}} = 0\bar{z} = 0 \tag{15}$$

$$\hat{p}_s = 0\bar{z} = -1 \tag{16}$$

$$\frac{d\hat{p}_s}{d\bar{z}} = 0\bar{z} = -1 \tag{17}$$

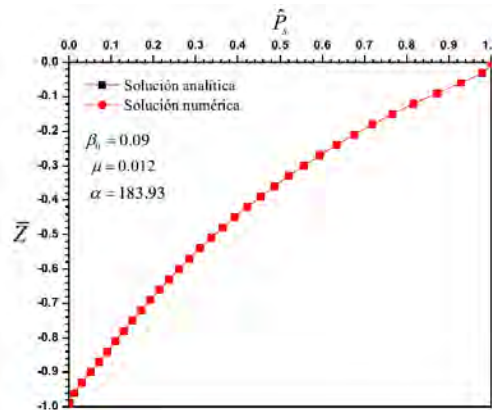
La solución de la (13) y sus condiciones de frontera (14)-(17) se lleva a cabo utilizando la ecuación exacta desarrollada por (Zienkiewicz et al., 1980).

Análisis y discusión de resultados:

La solución analítica de la (13) se comparó con la solución numérica y se observa una buena aproximación en ambos resultados.

Figura 1.

Comparación de la solución analítica contra la solución numérica de la presión de poro \hat{p}_s a lo largo de la profundidad del suelo marino \bar{z} .

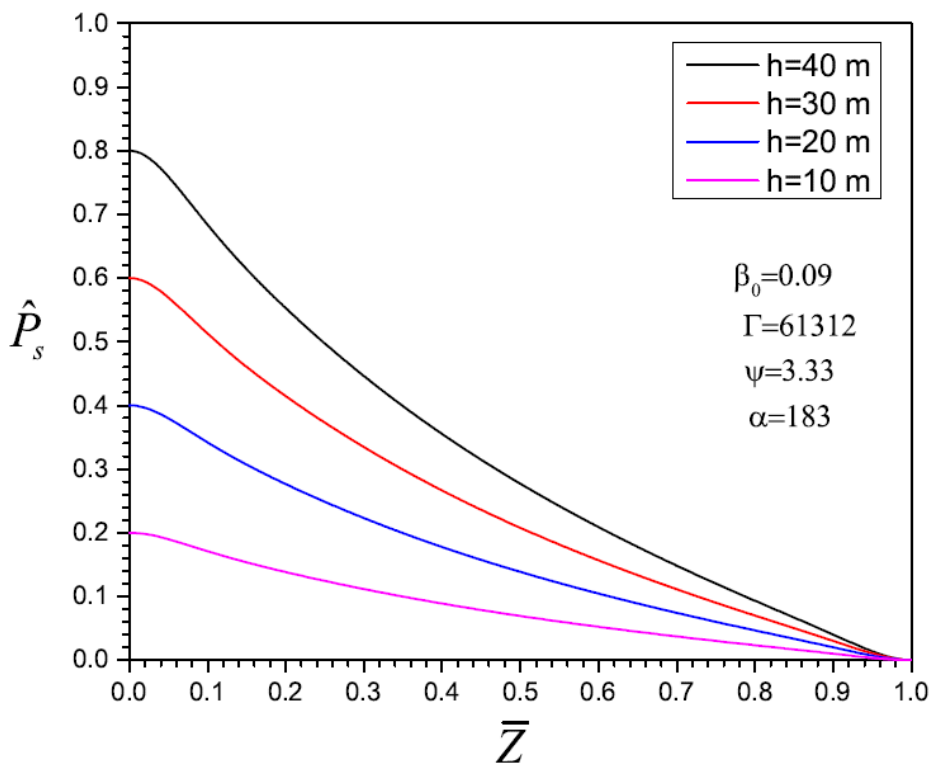




En la misma gráfica se observa que para valores de $\beta_0 = 0.09$, $\mu = 0.012$, $\alpha = 183.93$ se grafica la solución de la propagación de la presión de poro \hat{P}_s a lo largo del fondo marino, se observa que el máximo valor de \hat{P}_s se presenta en la interfaz oleaje-fondo marino donde $\bar{Z} = 0$ y $\hat{P}_s = 1$ y conforme aumenta el espesor del suelo la presión de poro \hat{P}_s decrece a medida que $\bar{Z} \rightarrow 1$. Esto quiere decir que en la interfaz oleaje-fondo marino se presenta una mayor presión de poro lo cual el suelo tiene una mayor probabilidad de licuar, por otro lado, conforme aumenta el espesor del suelo la presión de poro disminuye y seguramente los esfuerzos de contacto entre arenas (esfuerzos efectivos) aumentan, teniendo un mayor contacto entre partículas y logrando una mayor estabilidad del suelo. Una de las principales aportaciones del trabajo es resolver el modelo matemático adimensional e identificar los parámetros físicos dominantes en la solución del modelo matemático.

Figura 2.

Distribución de la presión del poro para diferentes profundidades del agua del mar.



En la Figura 6. se muestra el efecto que tiene la profundidad h , del tirante de agua desde la superficie libre del agua hasta fondo del suelo del océano en la presión de poro \hat{P}_s a lo largo de la profundidad del medio poroso \bar{Z} , para los valores de los parámetros adimensionales $\beta_0 = 0.09$, $\Gamma = 61312$, $\psi = 3.33$, $\alpha = 183$. En la misma figura se observa que conforme aumenta el valor de la profundidad del agua también aumenta la presión de poro, es decir, para profundidades de h



= 40 m se tiene una presión de poro adimensional de $\hat{p}_s = 0.8$, y para valores de $h = 10\text{m}$ se tiene una presión de poro $\hat{p}_s = 0.2$. Estos resultados demuestran la importancia que tiene la carga hidrostática con respecto a la respuesta de suelo marino

Conclusiones:

En el presente trabajo, se determinó una solución analítica del modelo matemático adimensional parcialmente dinámico ($u-p$) para calcular la presión de poro a lo largo del suelo marino. Los resultados indican que el comportamiento de la presión de poro es una función de parámetros que agrupan las propiedades del oleaje y el suelo marino. Con base a los resultados analíticos obtenidos se concluye:

La propagación de la presión de poro es fuertemente afectada por el parámetro $\beta_0 = Lz/\lambda$. Esto es porque la longitud de onda depende de la celeridad, la cual es una función de la profundidad del agua, es decir conforme aumenta la longitud de onda, crece la profundidad del agua y se tiene una mayor carga hidrostática en la interfaz oleaje-suelo marino.

El parámetro α también tiene un efecto considerable en la distribución de la presión de poro \hat{p}_s , ya que es un parámetro que agrupa la permeabilidad del suelo k_s , la longitud de onda λ , el modulo de corte G , la porosidad n y la frecuencia del oleaje ω .

La presente solución puede ser utilizada en primera aproximación para identificar los variables físicas que se deben de tomar en cuenta en el diseño de cimentaciones de estructuras situadas en lechos marinos de arenas finas parcialmente saturadas.



Referencias bibliográficas:

1. Arcos, E., Bautista, E., & Mendez, F. (2017). Dynamic response of a poro-elastic soil to
2. the action of long water waves: Determination of the maximum liquefaction depth as an
3. eigenvalue problem” *J. Appl. Ocean Res*, Vol.67, pp. 213-224, 2017.
4. Biot, M. A. (1941). General theory of three dimensional consolidation. *Journal Applied Physics*, 12(155), 155-164. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1712886>
5. Cha, D., Zhang, H., & Blumenstein, M. (2011). Prediction of maximum wave-induced
7. liquefaction in porous seabed using multi- artificial neural network model. *J. Ocean Eng*,
8. vol.38, pp.878-887.
9. Cheng, L., Hualing, Z., & pandhi. (2020). Physical modelling of combined waves and
10. current propagating around a partially embedded monopile in a porous seabed. *J. Appl. Ocean Res*, vol.205, pp. 1-20.
11. Groot, M. B., Kudela, M., Meijers, P., & Oumeraci, H. (2006). Liquefaction phenomena
13. underneath marine gravity structures subjected to wave loads. *J. Waterw. Port Coast.*
14. *Ocean Eng*, vol. 132, pp.325-335.
15. Jeng, D. S., Zhou, X. D., Luo, J. H., Wang, Z., Zhang., & Gao, F. (2010). Response of
16. Porous seabed to dynamic loadings. *J. Geotechnical Eng*, Vol.41, pp.46-58.
17. Liu, B., Jeng, D. S., Ye, D., & Zhou, Y. (2015). Laboratory study for pore pressure in sandy
18. deposit under wave loading. *Ocean Eng*, vol. 106, pp. 207-219.
19. Lundgren, H., Lindhardt, C., & Romold, F. (1989). Stability of breakwater on



- porous
20. foundation Proceeding of 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 451-454, 1989.
 21. Polyanin, A., & Saizev, F. (2002). Handbook of exact solutions for ordinary differential
 22. equations” 2do ed., Chapman and Hall, pp. 666.
 23. Qibo, Z., Hualing, Z., Pandi., Shaohua, W., & Duanb, L. (2020). Experimental study on
 24. irregular wave-induced pore-water pressures in a porous seabed around a mono-pile. J.
 25. Appl. Ocean Res, vol.95, pp.1-14
 26. Summer, F. H., Dixen & Fredsoe, J. (2011). Stability of submerged rock berms exposed
 27. to motion of liquified soil in waves. J. Ocean Eng, vol.38, pp. 849-859.
 28. Verruijt, A. (1969). Elastic storage of aquifers. In flow through porous media. Academic
 29. Press.
 30. Yamamoto, T. H., Sellmeijer, H., & Hijum, E. V. (1978). On the response of a poro-elastic
 31. bed to water waves. J. Fluid Mechanics, vol.87, pp.193-206, 1978.
 32. Zienkiewicz, O. C., Chang, C., & Bettess. (1980). Drained, undrained consolidating and
 33. Dynamic behavior assumptions in soil. Geotechnique, vol. 30, pp. 385-



CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DEL GESTO TÉCNICO EN EL LANZAMIENTO DE MARTILLO: UNA APROXIMACIÓN DESDE LA ERGONOMÍA FÍSICA.

Autor: Gilberto García Cruz

Coautores: Martha Johany Salazar Rivera, Ashley Miyoko Avendaño González, Angela Valeria Pérez Gutiérrez

Institución de Adscripción: Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Agua Prieta.

Correo de contacto: l22750229@aguaprieta.tecnm.mx

Resumen:

El presente estudio analiza la caracterización biomecánica del gesto técnico del lanzamiento de martillo con el propósito de establecer la relación causal entre las variables cinemáticas del movimiento y el desgaste articular crónico en la cadera. A través de una revisión sistemática de literatura científica y de modelos de análisis tridimensional del movimiento, se identificaron los factores que contribuyen al incremento de carga en la articulación coxofemoral durante las fases de doble apoyo y liberación. Los resultados evidencian que la inclinación posterior del tronco, la torsión pelvis-tórax, la velocidad angular elevada y la repetición sin periodos de recuperación son los principales determinantes del estrés articular. Este enfoque permite reinterpretar el lanzamiento de martillo como una tarea humana de esfuerzo físico repetitivo, proponiendo una visión ergonómica orientada a la preservación funcional del atleta y a la prevención de lesiones por sobreuso.

Palabras clave:

Ergonomía física, desgaste articular, biomecánica, lanzamiento de martillo, ingeniería del movimiento.

Planteamiento del problema:

La investigación se enfoca en la necesidad de comprender las consecuencias fisio-mecánicas derivadas de movimientos repetitivos en disciplinas deportivas de alta especialización, específicamente, pruebas de campo como lanzamiento de martillo. A partir de un enfoque técnico y ergonómico, se plantea el análisis del gesto deportivo no únicamente como una secuencia funcional orientada al rendimiento, sino como una tarea humana de esfuerzo físico repetitivo que, ejecutada de forma sistemática, podría desencadenar lesiones de tipo crónico. El estudio se enfoca en las cargas biomecánicas propias del gesto técnico del martillo, particularmente en lo



que respecta a la articulación coxofemoral. Esta problemática adquiere relevancia dentro del ámbito de la ingeniería aplicada al deporte y la ergonomía preventiva, al proponer una lectura alternativa que trasciende la visión tradicional del rendimiento y se enfoca en la preservación funcional del cuerpo humano.

Objetivo:

Establecer la relación causal entre el gesto técnico del lanzamiento de martillo y el desgaste articular crónico en la cadera, al considerarlo, desde una perspectiva ergonómica, como una tarea repetitiva de alta exigencia física.

Objetivos específicos:

1. Revisar críticamente la literatura científica relacionada con la biomecánica del lanzamiento de martillo y las implicaciones osteoarticulares de tareas físicas repetitivas, con énfasis en la articulación coxofemoral.
2. Analizar los vectores de carga mecánica implicados en las distintas fases del gesto técnico del lanzamiento de martillo, identificando momentos críticos de exigencia biomecánica sobre la cadera.
3. Establecer la relación causal entre las características biomecánicas del gesto técnico del lanzamiento de martillo y el desgaste articular crónico en la cadera, considerando dicha actividad como una tarea humana de esfuerzo físico repetitivo.

Metodología:

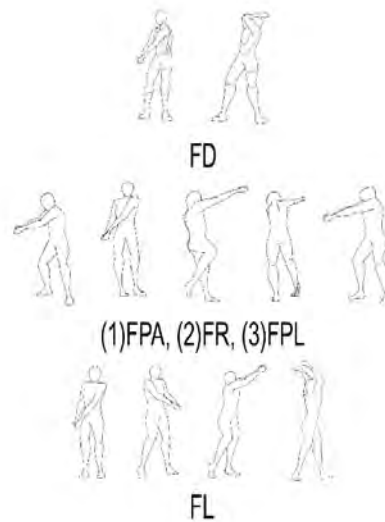
El lanzamiento de martillo combina factores cinemáticos —como la velocidad angular y el radio de giro— y cinéticos —como las fuerzas de tracción, torsión y extensión muscular— que definen su estructura biomecánica. Comprender esta interacción permite analizar tanto la efectividad técnica como las implicaciones ergonómicas del gesto. Primeramente, se realizó una revisión sistemática de literatura científica en bases de datos arbitradas, enfocada en estudios sobre biomecánica del lanzamiento de martillo, fisiología articular de la cadera, patrones de carga repetitiva y lesiones osteomusculares. Posteriormente, se modeló el gesto técnico a partir del estudio de Fujii et al. (2020), el cual describe cinco fases clave: fase de despegue (FD), fase de preparación alta (FPA), fase de rotación (FR), fase de preparación larga (FPL) y fase de liberación (FL), clasificadas según el tipo de apoyo y su relación con la velocidad angular del tronco (velocidad angular del tronco en el eje ante posterior (VATA), velocidad angular del tronco en el eje lateral (VATL), velocidad angular del tronco en el eje vertical (VATV)). La extensión de brazos y la oposición pélvica observadas en las fases de doble apoyo y liberación permiten aumentar el



radio de giro, prolongando la trayectoria de aceleración. Este fenómeno biomecánico, descrito también por Fujii et al. (2020), optimiza la velocidad tangencial, aunque incrementa la exigencia en la cadera y el tronco.

Figura 1

Fases de lanzamiento del martillo.



Según el modelo biomecánico propuesto por Fujii et al. (2020), el análisis del lanzamiento de martillo puede descomponerse en un sistema de coordenadas del tronco definido a partir de los centros articulares de la cadera y los hombros. Este sistema (X_t , Y_t , Z_t) permite describir con precisión los movimientos de inclinación anteroposterior (VATA), lateral (VATL) y rotacional (VATV) del tronco, los cuales desempeñan un papel determinante en la generación de la velocidad tangencial del martillo durante las fases de doble apoyo (FDA) y de liberación (FL).

Figura 2





Dirección de Ejes en el tronco

La descomposición angular del movimiento permitió construir una matriz de carga que identifica momentos críticos de esfuerzo articular, especialmente durante las fases de doble apoyo, donde se concentran los picos de aceleración y torsión axial.

Finalmente, se reinterpretó el gesto desde los principios de la ergonomía física, considerando sus similitudes con tareas industriales de alto esfuerzo rotacional. Se empleó el modelo de umbrales de carga adaptativa para estimar el impacto del entrenamiento repetitivo sobre la cadera.

Los hallazgos de la literatura concuerdan con los reportados por Fujii et al. (2020), en los cuales la inclinación posterior del tronco y la torsión coordinada entre pelvis y tórax se asocian a incrementos en la velocidad tangencial del martillo. Sin embargo, la literatura indica que estas estrategias biomecánicas implican un aumento del esfuerzo compresivo y de torsión en la cadera, lo que puede traducirse en sobrecarga articular acumulativa, la técnica moderna de lanzamiento de martillo combina ángulos de separación controlados (20° – 40°) y torsión progresiva del tronco para optimizar el rendimiento. No obstante, estas adaptaciones biomecánicas suponen un riesgo ergonómico significativo por la exposición repetitiva de la articulación coxofemoral a cargas rotacionales y de compresión simultáneas.

La relación causal entre las variables biomecánicas del gesto técnico y el desgaste articular crónico en la cadera se fundamenta en la interacción entre tres componentes principales: la cinemática del movimiento, la carga mecánica acumulativa y la respuesta adaptativa del tejido articular.

En las fases de doble apoyo y liberación, la combinación de inclinación posterior del tronco, velocidad angular elevada del tronco y rotación de la pelvis genera fuerzas de compresión y torsión sobre la articulación coxofemoral (Fujii et al., 2020). Este patrón, repetido de forma sistemática durante los entrenamientos, induce microtraumas acumulativos que, a largo plazo, derivan en procesos de degeneración articular similares a los observados en tareas industriales de esfuerzo repetitivo (Ohta et al., 2010; Sánchez & Sánchez, 2022).

Desde la ergonomía física, este fenómeno puede entenderse como un modelo de sobrecarga adaptativa, donde la exposición prolongada a cargas rotacionales sin periodos adecuados de recuperación supera los umbrales fisiológicos del cartílago acetabular (Neppele et al., 2015). En consecuencia, se establece una relación causa-efecto entre la ejecución biomecánica del gesto técnico y la aparición progresiva de lesiones de cadera como el pinzamiento femoroacetabular o la artrosis coxofemoral temprana (Lewis & Sahrman, 2015).



Discusión de resultados:

El análisis biomecánico del gesto técnico permitió identificar con claridad la existencia de momentos críticos de carga articular, especialmente concentrados en las fases de doble apoyo (FDA) del ciclo de lanzamiento. Estas fases, caracterizadas por el contacto simultáneo de ambos pies con el suelo, son donde se produce el mayor incremento en la velocidad del martillo, tanto en dirección tangencial como normal, y donde el atleta aplica la mayor fuerza de rotación mediante movimientos coordinados del tronco y los miembros inferiores. La evidencia técnica sugiere que durante estas fases se produce una inclinación deliberada del tronco hacia atrás.

Tabla 1

Relación causal de variables.

Variable biomecánica / ergonómica	Efecto inmediato	mecánico	Consecuencia funcional	Lesión o alteración asociada
<i>Inclinación posterior del tronco</i>	Compresión femoroacetabular		Sobrecarga en el labrum	Pinzamiento FAI
<i>Rotación excesiva del tronco y pelvis</i>	Torsión coxofemoral		Estrés acumulado en cartílago	Artrosis temprana
<i>Alta velocidad angular</i>	Aumento de fuerzas centrípetas		Fatiga articular	Microlesiones repetitivas
<i>Desequilibrio neuromuscular</i>	Desalineación pélvica		Movimientos compensatorios	Dolor e inestabilidad de cadera
<i>Microtrauma acumulativo</i>	Impacto submáximo repetido		Falla del tejido labral	Lesión crónica
<i>Falta de recuperación</i>	Exposición prolongada sin descanso		Degeneración progresiva	Artrosis coxofemoral
<i>Repetición recuperación</i>	<i>sin</i> Fatiga estructural		Fallo adaptativo del tejido	Desgaste progresivo



Con el fin de maximizar la distancia de avance del mango, lo cual genera un aumento significativo en la velocidad angular del martillo. Esta acción, si bien es eficiente desde el punto de vista del rendimiento deportivo, implica un alto nivel de estrés sobre la articulación coxofemoral, especialmente en su porción anterosuperior, debido al efecto combinado de tracción, compresión y rotación simultánea.

Los datos extraídos del modelo de Fujii et al. (2020) muestran que los lanzadores de nivel élite presentan valores más elevados de velocidad angular en el eje anteroposterior (VATA), lo que se traduce en una mayor inclinación posterior del tronco. Esta estrategia técnica, adoptada de manera sistemática durante las fases FPL4-FL, parece tener un efecto directo sobre el control del movimiento del implemento, pero también incrementa la carga mecánica que debe absorber la cadera. Asimismo, se observaron patrones recurrentes de inclinación lateral (VATL) hacia el lado contrario al giro, lo que sugiere una compensación estabilizadora que también contribuye a la compresión articular en planos transversales. Si bien estos patrones no son patológicos por sí mismos, su repetición crónica durante las ejecuciones a lo largo de la carrera deportiva constituye un factor de riesgo ergonómico de alta relevancia.

Desde la perspectiva de la ergonomía física, el gesto técnico del lanzamiento de martillo puede ser interpretado como una tarea de esfuerzo repetitivo de alta demanda, equiparable en complejidad y riesgo a ciertas actividades industriales que implican movimientos rotacionales de tronco bajo carga sostenida. La combinación de aceleración angular, posición extendida de cadera, inclinación posterior y resistencia concéntrica del tronco configura un entorno biomecánico que sobrepasa los umbrales fisiológicos de tolerancia cuando se realiza de forma prolongada en el tiempo. Esta hipótesis se ve reforzada por registros clínicos de atletas con antecedentes de artrosis coxofemoral temprana, pese a la ausencia de impactos directos o traumatismos agudos.

El cruce entre los datos técnicos y las interpretaciones ergonómicas permitió elaborar una matriz de vulnerabilidad, en la que se identifican las fases del gesto con mayor potencial degenerativo. Las fases más críticas se concentran al final del ciclo, entre la fase de preparación larga (FPL3) y la fase de liberación (FL), donde el impulso final del implemento coincide con el pico de velocidad angular del tronco y una transferencia acelerada de cargas desde los miembros inferiores hacia el tren superior. Este momento de liberación, además de ser biomecánicamente exigente, se convierte en un punto de alta vulnerabilidad si se considera el impacto acumulativo en sesiones de entrenamiento de alta frecuencia y duración.



Conclusiones:

Los hallazgos de este estudio permiten comprender con mayor profundidad la complejidad biomecánica del gesto técnico en el lanzamiento de martillo y su implicación en el desgaste articular crónico de la cadera. Al analizar este movimiento como tarea repetitiva, ha sido posible identificar elementos estructurales que lo convierten en un factor de riesgo osteoarticular, especialmente cuando se ejecuta con alta frecuencia durante largos periodos de entrenamiento. La inclinación posterior del tronco, la aceleración angular en fases de doble apoyo y la transferencia de cargas durante la liberación del implemento configuran una dinámica corporal que, aunque eficaz para el rendimiento, impone una sobrecarga sostenida sobre la articulación coxofemoral.

El abordaje ergonómico permitió reinterpretar un gesto usualmente analizado solo desde el rendimiento, situándolo también en la prevención biomecánica. Este análisis aporta evidencia para la ingeniería aplicada al deporte, al ofrecer criterios técnicos útiles para entrenamientos, ejercicios compensatorios y límites adaptativos seguros. Asimismo, abre una línea de interrogación científica orientada a valorar cómo el cuerpo responde a cargas técnicas especializadas cuando estas se repiten de manera sostenida.

En conclusión, el gesto técnico del lanzamiento de martillo, por su complejidad angular y patrón rotacional bajo carga, debe ser entendido no solo como una acción deportiva de alta especialización, sino también como una tarea biomecánicamente exigente que puede generar consecuencias fisiopatológicas acumulativas si no se dosifica adecuadamente.



Referencias Bibliográficas.

1. Arif Al Ardha, M., Nurhasan, N., Supriyanto, C., Wulandari, F. Y., Bing Yang, C., Han Lin, J., Ayubi, N., Firmansyah, A., Bikalawan, S. S., Rizki, A. Z., Satrio Utomo, R., Pambuka Putra, K., & Wijayanto, A. (2024). Sports biomechanics research on the hammer throw: Systematic review. *Retos*, 54, 248–254. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos>
2. Braun-Trocchio, R., Graybeal, A. J., Kreutzer, A., Warfield, E., Renteria, J., Harrison, K., Williams, A., Moss, K., & Shah, M. (2022). Recovery strategies in endurance athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.3390/jfmk7010022>
3. Erickson, L. N., & Sherry, M. A. (2016). Rehabilitation and return to sport after injuries to the hip and pelvis. *Sports Health*, 8(4), 336–345. <https://doi.org/10.1177/1941738116651475>
4. Fujii, N., Ae, M., Kobayashi, Y., & Nagao, H. (2020). Kinematic analysis of hammer throw using inertial sensors. *Sports Biomechanics*, 19(4), 497–509. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1477336>
5. Fujii, N., Ichikawa, T., & Ohta, M. (2020). Biomechanical characteristics of hammer throwers during double-support phase: Implications for hip load and performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5402), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph1905402>
6. Gutiérrez, M., Rojas, F. J., & Soto, V. M. (2004). Relación entre el desplazamiento en la fase de doble apoyo y la velocidad en el lanzamiento de martillo. En *Apoyo biomecánico al rendimiento deportivo* (pp. 22–31). Consejo Superior de Deportes.
7. Horváth, G., Castaldi, L., & Pavlović, M. (2024). Biomecánica del lanzamiento de martillo y factores determinantes del rendimiento. *Revista RETOS*, 25, 124–130. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos>
8. Jaenada-Carrilero, E., Baraja-Vegas, L., Blanco-Giménez, P., Gallego-Estevez, R., Bautista, I. J., & Vicente-Mampel, J. (2024). Association between hip/groin pain and hip ROM and strength in elite female soccer players. *Journal of Clinical Medicine*, 13(18), 5648. <https://doi.org/10.3390/jcm13185648>



9. Keeley, D. W., Plagenhoef, S., & Doherty, T. J. (2008). The influence of mechanical factors on injury risk in throwing athletes. *Sports Biomechanics*, 7(2), 182–193. <https://doi.org/10.1080/14763140701841501>
10. Lewis, C. L., & Sahrmann, S. A. (2015). Acetabular labral tears: Relationship to hip morphology, femoroacetabular impingement, and injury mechanisms. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(1), 42–51. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5829>
11. Nepple, J. J., Philippon, M. J., Campbell, K. J., & Clohisy, J. C. (2015). The hip fluid seal—Part II: The role of acetabular labrum and intra-articular pressure in hip mechanics. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(10), 2997–3004. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3157-z>
12. Ohta, K., Umegaki, K., Murofushi, K., & Luo, Z. (2010). Analysis of hammer movement based on a parametrically excited pendulum model. *Journal of Biomechanics*, 43(12), 2208–2213. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.03.036>
13. Ohta, M., Fujii, N., & Ichikawa, T. (2024). Biomechanics of the hammer throw: Trunk motion analysis using a coordinate system based on hip and shoulder joints. *Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences*, 175(2), 1148–1159.
14. Sánchez, J., & Sánchez, G. (2022). Evaluación ergonómica del esfuerzo físico repetitivo en atletas de potencia. *Revista Iberoamericana de Ergonomía*, 10(3), 45–56. <https://doi.org/10.22201/ergon.2022.10.3.56>



EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CENTRO DE MAQUINADO, HERRAMIENTA ABSTRACTA DE LA COMPRESIÓN SITUACIONAL

Autor: Guadalupe Hernández Escobedo

Coautores: Ángel Ramírez Huerta, Amalia Camina Salinas Hernández, Arturo Realy Vázquez Vargas

Institución de adscripción: Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana

Correo electrónico de contacto: guadalupe.hernandez@tectijuana.edu.mx

RESUMEN:

Las empresas para ser productivas han empezado a usar enfoques o formas diversas para abordar las problemáticas existentes. Esto fue visualizado en los procesos de toma de decisiones considerando diversas variables. El enfoque sostenible fue empleado ya que considera diferentes dimensiones, particularmente la económica. La problemática presentada en la empresa manufacturera, como caso de estudio, era el incremento constante de la demanda de productos metal-mecánicos manufacturados. Diversas alternativas fueron desarrolladas para atender dicho incremento, iniciando con el análisis de la potencial compra de un centro de maquinado para añadirlo al equipo existente. Para ello, dos técnicas de Ingeniería Económica fueron empleadas para comparar dos alternativas de inversión, un equipo nuevo y un equipo con características similares que fue comprado hace cinco años. Para éste se empleó la metodología de la Ingeniería Económica, empleando las técnicas VPN y VAE (CAE, particularmente). De ahí que, para generar igualdad de condiciones, los flujos de efectivo del centro de maquinado comprado anteriormente fueron ajustados de acuerdo a la inflación y aquellos de la nueva opción, fueron estimados. De esta forma se tuvieron diagramas de flujo en el periodo de cinco años con igualdad de condiciones. La información recopilada incluyó costos y gastos incurridos de acuerdo a los manuales de operación y mantenimiento, insumos requeridos, cursos de capacitación, seguros, etc. Además, fueron definidos la tasa de interés, la TREMA y el periodo de tiempo (cinco años). También, aspectos intangibles fueron considerados como la percepción de facilidad del mantenimiento, disponibilidad de piezas de repuesto, partes intercambiables, entre otras. Consecuentemente, cada técnica fue empleada y los resultados sugieren que la compra del centro de maquinado, bajo las condiciones analizadas, no es una alternativa viable desde la dimensión económica. Finalmente, se concluye que el enfoque sostenible es viable para atender problemáticas en empresas manufactureras de productos metal-mecánicos.



PALABRAS CLAVE: Evaluación económica, inversión, costos operativos, Ingeniería Económica.

INTRODUCCIÓN:

Nota: El presente documento es resultado parcial de un estudio en curso. Esta investigación explora diversos conocimientos, experiencias y enfoques como herramientas abstractas en la creación y mantenimiento de la comprensión situacional. Esta comprensión situacional es la creación y mantenimiento de mapa mental que se usa para comprender situaciones en tiempos y lugares determinados, es considerada como actividad humana enfocada a procesos de toma de decisiones informadas. Por ello, aspectos de confidencialidad y éticos han sido considerados a lo largo del proceso de investigación, incluyendo la obtención y manejo de la información recopilada, análisis, obtención de resultados y uso en la elaboración de documentos de carácter profesional y académico, como el presente documento.

Dentro de la operación de las empresas manufactureras, existen diversas situaciones que requieren el uso de herramientas. Éstas les ayudan a tomar decisiones informadas (Deseo, 2024). Para ello, dichas herramientas generalmente son alineadas a la situación o problemática que desean solucionar. Dentro del área de administración existen diversas herramientas y enfoques para atender las problemáticas o situaciones que se presentan, generando soluciones que las atenderán a corto, mediano y largo plazo (Emery, 2000). Este plazo es considerado de acuerdo al uso de los recursos con que se cuenten en el momento de tomar las decisiones (Cifuentes, 2005). Para ello, fue necesario tener conocimiento de los recursos existentes e importancia dentro del contexto (Soriano, 2012). Este conocimiento ha sido aprendido mediante estudio o como resultado de experiencias, principalmente en el ejercicio profesional (Gitman, 2004).

Por otro lado, el enfoque en resolver problemas ha sido relevante a considerar. Actualmente, el enfoque sostenible es una alternativa para atender las situaciones o problemáticas que aquejan a las organizaciones. La forma de abordar dichas situaciones es usando las dimensiones social, sustentable o medio ambiental y económica (Gil, 2018). Cada una de ellas en si representa un reto ya que el enfoque representa la intersección de cada una de las dimensiones señaladas. Sin embargo, generalmente una dimensión prevalece sobre el resto en la forma práctica de atender las problemáticas. Es decir, de acuerdo a la experiencia, el uso del enfoque sostenible ha sido una manera de atender las situaciones o problemáticas ponderando las dimensiones, bajo ciertas restricciones organizacionales o personales del o los tomadores de decisiones. En esa línea, la dimensión económica es la que es usada preponderadamente en determinadas situaciones donde las actividades y tareas a desarrollar tienen impacto en las erogaciones a realizar para



atender las situaciones o problemáticas a resolver.

Adicionalmente, el proceso de toma de decisiones involucra tener un conocimiento del contexto donde se toman las decisiones. El enfoque sostenible apoya que la dimensión económica será la preponderante en dicho proceso. Sin embargo, el proceso en sí involucra al o los tomadores de decisiones y en este estudio, son la o las personas con ese rol (Molinares, 2012). Por ello, la comprensión de la situación o problemática es considerada una actividad humana en la comprensión de los elementos que componen un sistema de actividad humana. En esa línea, la creación y mantenimiento de dicha comprensión de los elementos conllevan a la situación en estudio (Endsley, 2015). En otras palabras, la creación y mantenimiento de la comprensión situacional es en sí, una actividad humana (Engeström, 2014), donde cada elemento del sistema lo compone y particularmente, los conocimientos y experiencias en técnicas de resolución de dichas situaciones son consideradas herramientas abstractas. Por ejemplo, al considerar la dimensión económica preponderante al tomar decisiones, las técnicas alineadas a este factor son consideradas como herramientas abstractas dentro de la creación y mantenimiento de la comprensión de la situación en estudio dentro del contexto señalado.

En el presente estudio, una empresa fabricante de piezas de maquinado sirve como contexto en estudio, considerada como caso de estudio (Yin, 2014). Esta organización es una empresa manufacturera de productos metal-mecánicos. La empresa tiene experiencia en el diseño, venta, fabricación y entrega de piezas de maquinado, las cuales tienen componentes de precisión con una amplia gama de tamaños. La calidad de sus productos ha generado un incremento de la demanda y debido a ello, diversas estrategias fueron desarrolladas para atenderla (Dávila, 1994; Peasy, 2023). Es decir, la situación que debe resolver es la forma o estrategia necesaria a desarrollar para atender la demanda actual y proyectada de sus productos (Sánchez, 2008). Entre las potenciales estrategias fue la compra de un equipo de maquinado con las mismas características de un equipo comprado hace cinco años. Lo anterior fue señalado como la principal estrategia considerando que el equipo actual, cumple con todas las especificaciones técnicas y operativas requeridas en la empresa. Además, la empresa cuenta con el personal que puede ser capacitado para su operación y mantenimiento para la atención de potenciales cambios tecnológicos actualmente no fueron considerados (Moreno, 2019). Esto es para así cumplir con las demandas de productos señaladas.

Es relevante señalar que, dentro de la empresa existe una máquina que fue comprada hace cinco años, sirviendo de referencia para compararla con la propuesta. Ésta tiene las características técnicas similares y fue considerada como mejor opción en referencia. Asimismo, otras máquinas fueron visualizadas como potenciales opciones de compra, pero la mayoría de ellas no contenía



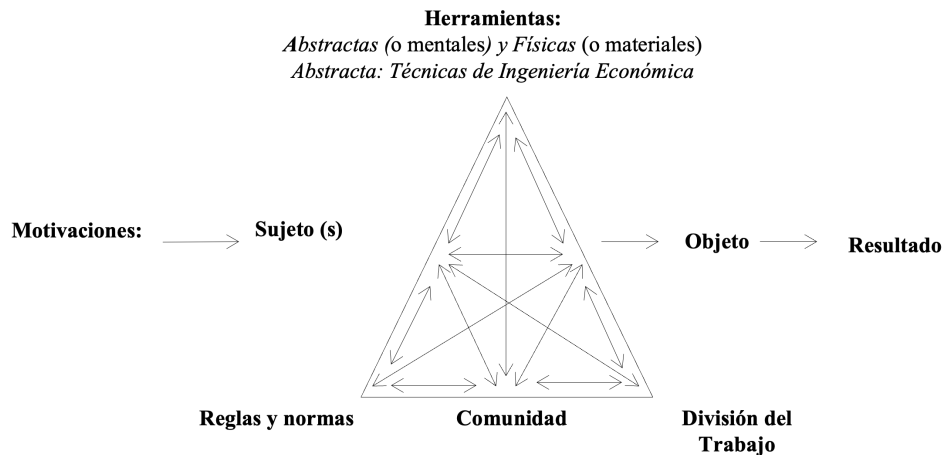
información relevante para su evaluación, siendo esto crucial al momento de tomar decisiones (Veiga, 2013). Es decir, los proveedores no proporcionaron información como manuales que contienen información de su operación, mantenimiento, principales partes que sufren desgaste, centros de servicio, etc. Por lo mencionado, las opciones fueron descartadas y se consideró la máquina mencionada. De ahí que, dos opciones dentro de la misma estrategia son consideradas, el equipo comprado hace cinco años (representando la primera opción), y el equipo proyectado a comprar (señalada como la segunda opción), presentada en Figura 1 (Haas Automation, 2024). Para realizar la comparación fue necesario actualizar los flujos de efectivo de la primera opción y estimar el flujo de efectivo de la segunda opción. Esto fue para hacer una comparación en igualdad de condiciones (Mokate, 1998).

El uso de la Ingeniería Económica como herramienta de toma de decisiones sirvió para evaluar la decisión de la potencial compra de bien (Serrano, 2020), específicamente el centro de maquinado. Esto fue usando diversas técnicas para evaluar económicamente la estrategia como principal dimensión considerada. Las técnicas consideradas fueron Valor Presente Neto (VPN) y Valor Anual Equivalente (VAE), en este caso es denominado Costo Anual Equivalente (CAE) por incluir flujos de efectivo representando costos y gastos (Cervantes, 2002; Pérez, 2023). Es relevante mencionar que esta ponencia presenta resultados parciales de la investigación relativa al uso de herramientas abstractas, las cuales son utilizadas para crear, mantener y usar la comprensión situacional. Ésta es una imagen mental de aquello que sucede en el contexto y a su vez sirve para proyectar estados de naturaleza alienados a un indicador, en este caso el económico. De ahí que la Ingeniería Económica es considerada una herramienta de naturaleza abstracta dentro de la comprensión situacional, siendo esta una actividad humana (Engeström, 2014). De ahí que, la información enunciada en el documento fue variada en base a las necesidades de estos aspectos y en común acuerdo con la empresa implicada. La Figura 1 presenta el Sistema de Actividad Humana de la Comprensión Situacional y las técnicas de Ingeniería Económica como las herramientas abstractas usadas en el caso de estudio señalado en este documento.



Figura 1

Sistema de Actividad Humana Comprensión Situacional



OBJETIVO:

Evaluar económicamente el centro de maquinado propuesto mediante técnicas de Ingeniería Económica para precisar la mejor opción de inversión en atención al aumento de capacidad productiva requerida.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS:

La metodología usada fue aquella que es empleada en la Ingeniería Económica y para los fines de presentación de este documento, los resultados son añadidos a ésta. Es decir, la investigación de acción fue empleada, señalando que mientras recolecta datos se va creando un ambiente de transferencia tecnológica de tal manera que se crea conocimiento dentro del proceso. Siete fases o etapas fueron realizadas permitiendo encontrar la mejor opción inversión de acuerdo a:

- Primera Fase. Esta fase sirvió para identificar y comprender la naturaleza de la problemática presentada, incluyendo la definición del objetivo del proyecto. Inicialmente, diversas técnicas y metodologías de Ingeniería Industrial fueron empleadas para desarrollar estrategias u opciones que permitieran la satisfacción de la demanda potencial. A pesar de ello, fueron probadas la mayoría de éstas y la compra de un nuevo centro de maquinado surgió como la principal opción, adicional a los ocho equipos de maquinado con que cuenta la empresa. Es decir, la potencial compra de un centro de maquinado fue definida como la opción a evaluar. La Imagen 1 exhibe el centro de maquinado propuesto (costos en dólares estadounidenses).



Imagen 1

Centro de maquinado propuesto -opción 2- (Fuente: Hass Automation, 2024)



- Segunda Fase. Esta fase incluyó la recopilación de información relevante, datos disponibles de cada opción considerada y la definición clara y concisa de ellas. Esta fase incluyó los manuales de operación, costos por mantenimientos preventivos y correctivos, costos por capacitación, etc. La comparación fue realizada en consideración de la potencial compra de un equipo con características técnicas similares a las de un equipo de maquinado que actualmente se encuentra en la empresa (segunda opción). El equipo utilizado como ejemplo para la compra del potencial equipo sirvió como la primera opción. La Imagen 2 presenta el equipo existente usado como referencia para la compra del potencial equipo y referenciado como primera opción.

Imagen 1

Centro de maquinado existente -opción 1- (Fuente: directa)





- Tercera fase. Esta fase fue relativo a las estimaciones de flujos de efectivo de cada opción. Esto incluyó la definición de los costos y gastos incurridos a lo largo del tiempo, el cual fue limitado a cinco años en relación directa con los manuales de operación y las sugerencias realizadas por el fabricante. En referencia a las erogaciones económicas, se consideraron el costo del equipo (conversión de dólares estadounidenses a pesos mexicanos) y lo necesario para su transporte, instalación y puesta en marcha, los insumos que se requieren, cursos para la operación y mantenimiento del equipo, los mantenimientos preventivos, el seguro del equipo, la depreciación del equipo, entre otros. Para el caso del equipo comprado hace cinco años, se calcularon los costos y gastos durante el periodo señalado y los flujos fueron ajustados cada año de acuerdo a la inflación al tiempo actual, para así presentar igualdad de circunstancias de análisis. Las tablas 1 y 2 presentan respectivamente los flujos de efectivo o de caja de la opción 1 (centro de maquinado existente) y opción 2 (centro de maquinado propuesto). Las cantidades representan erogaciones realizadas durante el periodo señalado.

Tabla 1

Flujos de caja o de efectivo -opción 1-

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Inicial						
Opción Única	\$2,500,000.00	\$1,828,032.80	\$1,904,992.98	\$1,985,193.18	\$2,068,769.81	\$2,155,865.01

Tabla 2

Flujos de caja o de efectivo -opción 2-

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Inicial						
Opción Única	\$1,650,000.00	\$1,586,318.98	\$1,592,404.09	\$1,598,550.76	\$1,604,721.16	\$1,610,915.38



- Cuarta fase. Esta fase se enfocó en la identificación de las medidas económicas a usar en el proceso de decisiones. Los indicadores usados en el proyecto fueron: inflación 3.86 % a lo largo de los periodos considerados, la tasa de interés (*i*) usada fue 5 % y la tasa de rendimiento mínima aceptable (*TREMA*) fue de 18 %. Los periodos fueron de cinco años en relación a lo señalado por los administradores de la organización y considerando la antigüedad del centro de maquinado como opción 1. Los flujos de efectivo fueron trasladados a tiempo presente y proyectados durante el tiempo señalado por la administración, como es presentado en Tabla 1.
- Quinta fase. Esta fase sirvió para evaluar cada una de las opciones utilizando las técnicas definidas por la administración de la empresa, las cuales fueron el Valor Presente Neto (VPN) y el Valor Anual Equivalente (VAE) -CAE-. Asimismo, fueron considerados aspectos intangibles como la percepción de facilidad de mantenimiento, de encontrar piezas de repuestos, de usar piezas intercambiables, etc. Asimismo, las Fórmulas 1 y 2 muestran cómo obtener VPN y VAE. La tabla 3 presenta los valores obtenidos en cada técnica empleada por opción considerada.

Fórmula 1

Obtención de VPN

$$VPN = -I_0 - \left[\left(\frac{\text{Flujo 1}}{(1+k)^1} \right) - \left(\frac{\text{Flujo 2}}{(1+k)^2} \right) - \left(\frac{\text{Flujo 3}}{(1+k)^3} \right) - \left(\frac{\text{Flujo 4}}{(1+k)^4} \right) - \left(\frac{\text{Flujo 4}}{(1+k)^5} \right) \right]$$

Fórmula 2.

Obtención de VAE -CAE-

$$VAE = VPN \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right]$$

Tabla 3

Valores obtenidos del VPN y VAE -CAE- por cada opción

Tipo de Maquina (Año)	VPN	VAE -CAE-
Máquina CNC 3016 (2018) -opción 1.	-\$8,568,544.36	-\$1,979,762.17
Máquina CNC VF-2 (2025) -opción 2-	-\$11,074,911.56	-\$2,558,858.31



- Sexta fase. Esta fase fue enfocada en ponderar los resultados obtenidos en cada una de las técnicas usadas en la evaluación de cada opción y el análisis cualitativo de los participantes en las evaluaciones. Los resultados muestran que la máquina comprada hace cinco años fue la que mostró menor VPN y VAE -CAE-, señalado con valores negativos. Esto fue comprendido como menores erogaciones a lo largo del periodo de análisis. Consecuentemente, el equipo de maquinado comprado hace cinco años es considerada como la mejor opción; por tal motivo, la compra del nuevo equipo de maquinado es descartada, abriendo la posibilidad de la búsqueda de otras opciones en términos económicos.
- Séptima Fase. Esta etapa fue relacionada al reinicio del proceso de la metodología empleada con la búsqueda y evaluación de otros centros de maquinado, los cuales ya no fueron considerados en esta evaluación realizada. Al momento de realizar este documento, la empresa ha buscado equipos alternativos para evaluarlos usando las técnicas de Ingeniería Económica y para ello, las alternativas empleadas fueron su referente. El resultado obtenido solamente fue usado para su proceso de toma de decisiones buscando incrementar su capacidad productiva.

CONCLUSIONES:

La evaluación de las opciones en la estrategia desarrollada fue con la finalidad de añadir un equipo de maquinado al equipo existente. Este equipo permitiría incrementar la capacidad productiva de la empresa de tal forma que se puedan atender los incrementos de la demanda considerados. Por ello, una vez finalizada la evaluación económica de las opciones señaladas y particularmente, la opción desarrollada para la compra del centro de maquinado, se concluye que ésta no es factible desde la perspectiva económica. Por ello, el uso de las técnicas VPN y VAE ofrecen diversas perspectivas de cómo el flujo del dinero a través del tiempo puede ser analizado en determinados momentos del tiempo. Consecuentemente, éstas ayudaron a presentar los argumentos para abrir oportunidades a buscar otros equipos de maquinado en el mercado.

Asimismo, esto ayudó a corroborar la aplicación de los conocimientos a los problemas rutinarios generando otras perspectivas o paradigmas para resolverlos. El enfoque sostenible ayuda a crear un marco de análisis y genera las pautas para la ponderación de la dimensión de interés, prevaleciendo el económico sobre el social y medioambiental. De la misma forma, el proceso de toma de decisiones es una actividad humana que, para tomar una mejor decisión, es relevante crear y mantener la comprensión situacional. Para ello, es relevante el uso de herramientas



físicas y abstractas, así como la consideración de los elementos restantes del sistema de actividad humana. Siendo el conocimiento de las técnicas de Ingeniería Económica las que fueron empleadas para generar certeza dentro del proceso de toma de decisiones y en sí la decisión a tomar. Es decir, las herramientas abstractas son relevantes para la creación y mantenimiento de mapas mentales, que apoyan en procesos de toma de decisiones, donde la dimensión económica es particularmente ponderada en dicho proceso. Los estados proyectados de las diversas opciones pudieron ser observadas en la cuantificación de las estimaciones de las erogaciones a realizar y que fueron consideradas en la evaluación económica.

Por lo anterior, fueron descubiertas áreas de oportunidad en el uso de las diversas técnicas de Ingeniería Económica que se pueden utilizar para otras problemáticas o situaciones desde el enfoque sostenible, ponderando en sí la dimensión económica. Esto otorga la oportunidad de hacer análisis de costos y sus proyecciones a través del tiempo, las cuales no han sido utilizadas en dichos contextos anteriormente. De la misma forma, se abre la oportunidad de usar las otras dimensiones que pueden ser trasladadas a la dimensión económica permitiendo abrir posibilidades de análisis y evaluación de opciones, por ejemplo, de inversión o para atender actividades o tareas de naturaleza social, o en su caso, situaciones que impactan en el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM/Instituto Tecnológico de Tijuana por financiar el presente estudio. También, se agradece a la organización y los participantes sus contribuciones a esta investigación. Sin embargo, las interpretaciones y puntos de vista señalados en este documento son solamente de los autores.



REFERENCIAS:

1. Cervantes, J. G. (2002). Evaluacion Economica Financiera. En J. G. Cervantes, *Evaluacion Economica Financiera* (pág. 352). Ciudad de Mexico: UNAM.
2. Cifuentes, T. R. (2005). *Contabilidad Financiera*. Bogotá: Centro Editorial Universidad del Rosario.
3. Dávila, C. C. (1994). *Los Costos de Calidad*. San Luis Potosi: Editorial Universitaria Potosina.
4. Deseo, S. G. (2024). *Guía Deseo*. (Consultado: 15 Enero 2025) Obtenido de <https://guiadeseo.com/blog/que-importancia-tiene-un-proyecto-de-inversion-en-las-empresas/>
5. Emery, D. R. (2000). *Fundamentos de Administracion Financiera*. Ciudad de Mexico: Pearson.
6. Endsley, M. R. (2015). Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *Journal of cognitive Engineering and Decision making*, 9(1), 4-32.
7. Engeström, Y. (2014). Activity theory and learning at work. In *Tätigkeit-Aneignung-Bildung: Positionierungen zwischen Virtualität und Gegenständlichkeit* (pp. 67-96). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
8. Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (140), 107-118.
9. Gitman, L. (2004). *Fundamentos de Inversores*. San Diego: Pearson.
10. Haas Automation, Inc. (2024). *CNC Machine Tools, VF2*. (Consultado: 15 Abril 2025). Obtenido de <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2.html>
11. Mokate, K. M. (1998). *Evaluacion Financiera de Proyectos de Inversion*. Bogotá, Colombia: Alfa Omega.
12. Molinares, C. V. (Junio de 2012). LA CREACIÓN DE VALOR EN LAS EMPRESAS:. En C. V. Molinares. SABER CIENCIA.
13. Moreno, A. B. (2019). *Manufactura: Conceptos y Aplicaciones*. Tamaulipas: PATRIA.



14. Peasy, M. (Mayo de 2023). *Mr. Peasy*. Obtenido de <https://www.mrpeasy.com/blog/es/costo-de-calidad>
15. Pérez, A. B. (Septiembre de 2023). Obtenido de Enciclopedia Financiera: <http://www.encyclopediainanciera.com/finanzas-corporativas/valor-presente-neto.htm#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20el%20Valor%20Presente,ser%20considerados%20como%20inversiones%20adecuadas>.
16. Sánchez, F. (2008). *Calidad Total en las organizaciones*. Madrid: ELEARNING S.L.
17. Serrano, F. G. (2020). *Proyectos de Inversión*. Ciudad de México: Patria Educación.
18. Soriano, C. (2012). Toma de Decisiones Eficaces. En C. Soriano, *Toma de Decisiones Eficaces* (pág. 261). Madrid: Diaz de Santos.
19. Veiga, J. F. (2013). *El Análisis de Inversiones en la empresa*. Madrid: Midac Digital.
20. Yin, R. K. (2014). Case study research: Design and methods (applied social research methods).



PODADORA ERGONÓMICA

Autor: Cristian Vinicio López Del Castillo

Coautores: Dinora Monroy Meléndez, Penélope Guadalupe Álvarez Vega, Daniel Isidro Mendivil Villa

Institución de adscripción: Universidad de la Sierra Ingeniería Industrial en Productividad y Calidad

Correo electrónico de contacto clopez@unisierra.edu.mx

Resumen:

En nuestra constante búsqueda por mejorar la productividad y reducir el estrés en el lugar de trabajo, hemos diseñado y desarrollado una herramienta llamada “Podadora Ergonómica”, una herramienta que combina la eficiencia y el diseño ergonómico. Con esta herramienta ergonómica, hemos optimizado la funcionalidad para reducir en su totalidad el riesgo de caídas en el lugar de trabajo, mejorar la precisión y la eficiencia en las tareas diarias, incrementar la comodidad y la satisfacción del usuario, y reducir el riesgo de lesiones y problemas de salud relacionados con el trabajo.

La “Podadora Ergonómica” es una herramienta ergonómica, diseñada específicamente para mejorar la seguridad, la funcionalidad y la eficiencia en el proceso de poda en los árboles de nogal. Su diseño innovador reduce significativamente la fatiga y el estrés laboral, minimiza el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y mejora la precisión operativa, incrementando la productividad de los trabajadores en entornos de uso prolongado.

Palabras clave: Ergonomía, Innovación y Eficiencia

Introducción:

Esta herramienta modificada presenta un diseño ergonómico intuitivo y adaptable, materiales resistentes y duraderos, funcionalidades avanzadas y personalizables, así como una interfaz fácil de usar. En este contexto, la ergonomía juega un papel clave en el desarrollo de herramientas que optimizan las tareas agrícolas, reduciendo el esfuerzo físico y el riesgo de lesiones.



Esta herramienta ergonómica para nogales o uso doméstico fue diseñada para mejorar la productividad y la comodidad de los agricultores, minimizando la fatiga y maximizando la eficiencia en tareas como la poda, la cosecha y el mantenimiento de árboles. Con un diseño innovador y materiales ligeros pero resistentes, esta herramienta no solo simplifica el trabajo diario, sino que también contribuye a una agricultura sostenible mediante prácticas más seguras y eficientes.

Planteamiento del problema:

El desarrollo de actividades agrícolas, forestales y de jardinería en México y en diversas regiones de América Latina enfrenta desafíos significativos relacionados con la seguridad, la salud ocupacional y la productividad. Una de las labores más comunes en este contexto es la poda de árboles, indispensable para el mantenimiento de huertos comerciales, plantaciones de nogales y espacios verdes urbanos. Sin embargo, la práctica tradicional de la poda se asocia a riesgos elevados de caídas, lesiones musculoesqueléticas, fatiga y disminución de la eficiencia, derivada del esfuerzo físico excesivo.

Estudios sistemáticos recientes indican que los trastornos musculoesqueléticos (TME o MSD por sus siglas en inglés) están altamente prevalentes entre agricultores que realizan tareas manuales: carga, cosecha, poda, plantación, etc. Reis, Tsaopoulos & Bochtis (2020) revisan que los factores de riesgo más relevantes son movimientos repetitivos, posturas incómodas o forzadas, uso de fuerza excesiva, manejo de herramientas inadecuadas, y duración prolongada del trabajo.

En un estudio con agricultores de la India, por ejemplo, se encontró una fuerte relación entre el uso de herramientas tradicionales poco ergonómicas y altas tasas de dolor en espalda baja, hombros, cuello y extremidades superiores. Otra investigación entre productores de pistachos mostró prevalencia alta de TME en hombros (63.7 %), espalda baja (63 %) y manos/muñecas (52.1 %) —y aunque una intervención ergonómica participativa no modificó todos los indicadores clínicos, sí redujo las puntuaciones de riesgo ergonómico.

En México, aunque hay estudios aislados, se carece de herramientas agrícolas diseñadas específicamente para condiciones locales de clima, cultivo, contextos de



producción y disponibilidad de materiales. Las herramientas importadas muchas veces no se adaptan al tamaño de los usuarios, al ambiente, al tipo de poda requerido o al volumen de trabajo.

Además, los costos de salud, ausentismo laboral y reducción de productividad por lesiones son factores que afectan tanto al trabajador como al productor. Esto agrava las problemáticas de competitividad, sostenibilidad y bienestar ocupacional.

La relevancia de este problema es particularmente evidente en el noroeste de México, donde cultivos como el nogal pecanero representan una actividad económica de gran importancia regional. El mantenimiento de estas plantaciones requiere el uso constante de herramientas de poda, lo cual expone a los trabajadores a condiciones inseguras, posturas forzadas y esfuerzos repetitivos.

Por tanto, la herramienta denominada “Podadora Ergonómica” pretende cubrir una necesidad clara: diseñar una solución local que reduzca riesgos de lesiones, incremente la comodidad, disminuya la fatiga, mejore la eficiencia operativa y tenga aceptación por los usuarios. Este problema es relevante no solo para los trabajadores agrícolas, sino para la salud ocupacional, la economía regional, la sostenibilidad de las plantaciones de nogal, y el desarrollo de tecnologías apropiadas.

Objetivos del trabajo:

Evaluar el diseño, la funcionalidad y el impacto ergonómico de la herramienta en la reducción de riesgos laborales, la mejora de la productividad y la satisfacción de los trabajadores en actividades agrícolas.

Objetivos Específicos:

Evaluar el nivel de eficiencia y productividad alcanzado por los trabajadores al utilizar la herramienta, en comparación con herramientas de poda convencionales.

Identificar la percepción de los usuarios respecto a la comodidad, facilidad de uso y satisfacción derivada del empleo de la podadora ergonómica.

Metodología Aplicada:

El diseño de la podadora ergonómica responde a la necesidad de reducir riesgos laborales y optimizar la experiencia de los trabajadores en actividades agrícolas y de



jardinería. El proceso inició con una revisión de literatura en ergonomía, lo que permitió definir principios clave para garantizar seguridad, minimizar la fatiga y mejorar la comodidad del usuario.

Posteriormente, se desarrolló un prototipo ergonómico adaptable, empleando materiales ligeros y resistentes como aleaciones de aluminio, con el fin de asegurar durabilidad y funcionalidad. El diseño incluyó ajustes personalizables y mecanismos intuitivos que facilitaron su uso prolongado y lo hicieron accesible para distintos perfiles de usuarios.

Finalmente, en la fase de validación se aplicaron pruebas de usabilidad con un grupo de siete participantes, quienes evaluaron la herramienta en condiciones reales de trabajo. Los resultados confirmaron la eficacia del diseño en términos de comodidad, reducción del esfuerzo físico y facilidad de operación.

Este proceso de mejora continua permitió consolidar un producto innovador que cumple con los estándares de calidad, seguridad y eficiencia requeridos en el ámbito laboral.

Figura 1

Podadora Ergonómica





Discusión de resultados:

Reducción de problemas musculoesqueléticos y fatiga.

La implementación de la herramienta *podadora ergonómica* demostró una reducción significativa de problemas musculoesqueléticos, los usuarios reportaron alivio en dolores de manos, muñecas, espalda y cuello, lo que permitió trabajar por períodos más largos sin fatiga física ni mental. Esto coincide con lo observado en otros estudios que muestran que el uso de herramientas ergonómicas, con mangos diseñados adecuadamente, fuerza de corte reducida y diseño que favorece una mejor postura, disminuye significativamente la incidencia de dolor musculoesquelético.

Además, la literatura sugiere que la fatiga acumulada no solo disminuye la productividad, sino que aumenta el riesgo de errores, lesiones accidentales, e incluso exposición a caídas cuando el trabajador pierde control al manejar herramientas o al subir/bajar escaleras. En este sentido, cualquier diseño que reduzca la necesidad de fuerza excesiva, minimice agarres incómodos o repetitivos, y mantenga alineaciones corporales más naturales contribuye a la seguridad general.

Eficiencia operativa, productividad y precisión.

La mejora en eficiencia y precisión en la poda es otro beneficio importante reportado. Al mejorar la mecánica de corte, por ejemplo, cortes más limpios, menos esfuerzo al cerrar las cuchillas, menor necesidad de reposicionarse o corregir cortes, se reduce el tiempo por árbol o rama, se mejora uniformidad del trabajo, y se reduce desperdicio (ramas mal cortadas, injurias adicionales). Esto tiene implicaciones económicas: mayor número de árboles podados por día, menores tiempos muertos o tiempos de descanso por fatiga, menos errores que requieren retomar trabajo.

Mejora psicosocial y motivación del usuario.

Más allá del alivio físico, el uso de la herramienta ergonómica parece mejorar la motivación, el estado de ánimo, la satisfacción. Esto es consistente con investigaciones que muestran que cuando los trabajadores sienten que su herramienta, su ambiente y su tarea respetan sus límites físicos y les permiten trabajar con menor dolor, su autoestima, compromiso y satisfacción laboral crecen; lo cual puede traducirse en menor rotación, mayor dedicación, menor incidencia de errores y mejor clima laboral. Aunque



estos efectos son menos cuantificados en muchos estudios agrícolas, son reconocidos como importantes para la sostenibilidad de la intervención.

Prevención de riesgos mayores: caídas, accidentes, posturas peligrosas.

Además de los TME, la poda tradicional expone a riesgos de caídas por trabajo en altura usando escaleras, alcance de ramas, balanceo, así como al riesgo de cortar ramas que caen, de lesión por manejo de herramientas punzocortantes, de golpes, etc. La herramienta ergonómica, si su diseño mejora el agarre, estabilidad, reduce el esfuerzo para alcanzar ramas, puede reducir la necesidad de posiciones inseguras (extensión excesiva del brazo, torsión del torso, inclinaciones, etc.), y así disminuir accidentes. Esto se alinea con hallazgos de estudios sobre condiciones de cosecha/horticultura donde elevar los bancales, usar herramientas adaptadas o plataformas reduce la carga lumbar y las posturas de riesgo.

Entre los beneficios principales se destacan su ergonomía optimizada, versatilidad en distintas industrias, sostenibilidad mediante materiales reciclables y sistemas de seguridad avanzados. A nivel biomecánico, la herramienta reduce la carga física en manos, brazos y espalda, previene lesiones por movimientos repetitivos y favorece una postura ergonómica, evitando flexiones y esfuerzos excesivos.

Finalmente, se identificaron factores de riesgo comunes en la labor de poda, como el uso inadecuado de escaleras, pérdida de equilibrio al alcanzar ramas, caída de material cortado, ausencia de equipo de protección personal, condiciones climáticas adversas y posturas forzadas al manipular herramientas pesadas. Estos hallazgos reafirman la relevancia de integrar soluciones ergonómicas que incrementen la seguridad, reduzcan riesgos y optimicen el desempeño de los trabajadores en actividades agrícolas y de jardinería.

Figura 2

Factores de riesgo durante la poda



Costos económicos y de salud ocupacional.

Los beneficios no son solo físicos o subjetivos, sino tienen un claro impacto económico.

Menos lesiones.

menos días de baja, menos gastos médicos, menos pagos por compensaciones; mayor productividad

más producción, menores costos laborales unitarios.

En contextos agrícolas de pequeña o mediana escala, estas mejoras pueden marcar la diferencia en rentabilidad. En la investigación de productividad agrícola, se ha visto que incluso intervenciones de bajo costo pueden ser coste-eficientes si la aceptación es buena.



Resultados de la prueba de usabilidad:

En la validación realizada con siete usuarios, se evaluaron tres criterios principales: comodidad, reducción del esfuerzo físico y facilidad de uso. Los resultados se resumen en la tabla:

Tabla 1

Evaluación cualitativa de validación

Usuario	Comodidad (1-5)	Reducción de esfuerzo físico (1-5)	Facilidad de uso (1-5)	Observaciones principales
1	5	5	5	Muy ligera y práctica.
2	4	5	4	Mejora notable frente a podadoras convencionales.
3	5	4	5	Buen agarre, poco cansancio en brazos.
4	4	4	4	Ajustes fáciles, aunque requiere práctica inicial.
5	5	5	5	Excelente ergonomía.
6	4	5	4	Reducción clara de la fatiga.
7	5	5	5	Muy cómoda, recomendada para uso prolongado.

Promedio general:



Comodidad: 4.6 / 5

Reducción de esfuerzo físico: 4.7 / 5

Facilidad de uso: 4.6 / 5

En el caso de la Podadora Ergonómica, los puntajes altos en comodidad (4.6/5) y reducción de esfuerzo físico (4.7/5) indican que los usuarios perciben una mejora sustancial. Esta percepción es clave porque los síntomas de TME muchas veces son reportados subjetivamente, y la percepción de confort puede influir en el uso continuo de la herramienta ergonómica, algo que otros trabajos han señalado como factor crítico en la efectividad real de la intervención.

Conclusiones:

La incorporación de herramientas ergonómicas como la Podadora Ergonómica representa un avance significativo en la optimización del trabajo agrícola, al integrar principios de salud ocupacional, eficiencia operativa y sostenibilidad. Su diseño centrado en el usuario mejora la salud, el bienestar y la satisfacción de los trabajadores al reducir la incidencia de lesiones musculoesqueléticas, la fatiga y las molestias físicas durante jornadas prolongadas. Estos beneficios se traducen directamente en mayor productividad, precisión y calidad en las labores de poda, al permitir que los trabajadores mantengan un desempeño constante con menor esfuerzo físico y mental.

A nivel organizacional, la implementación de herramientas ergonómicas constituye una inversión estratégica que fortalece tanto la eficiencia como la seguridad del entorno laboral. Al disminuir los costos derivados de ausentismo, tratamientos médicos e indemnizaciones, se generan ahorros sostenibles a mediano y largo plazo. Asimismo, se promueve el cumplimiento de las normas de seguridad y salud ocupacional, lo cual protege a los trabajadores, minimiza riesgos legales y mejora la reputación institucional de las organizaciones agrícolas y forestales.

Desde una perspectiva humana, la Podadora Ergonómica no solo reduce el esfuerzo físico, sino que también aumenta la motivación y el compromiso de los trabajadores al ofrecer comodidad, confianza y sensación de seguridad. Estas condiciones favorecen un ambiente laboral más inclusivo, saludable y productivo, donde el bienestar de las



personas se vincula directamente con la competitividad y la sostenibilidad de las operaciones.

En síntesis, la adopción de soluciones tecnológicas con enfoque ergonómico, como la Podadora Ergonómica, impulsa un cambio positivo hacia una agricultura más segura, eficiente y centrada en las personas, en la que la innovación no solo mejora los resultados económicos, sino también la calidad de vida y la dignidad del trabajo rural.



Referencias Bibliográficas:

1. Benos, L., Tsaopoulos, D., & Bochtis, D. (2020). A Review on Ergonomics in Agriculture. Part I: Manual Operations. *Applied Sciences*, 10(6), Article 1905. <https://doi.org/10.3390/app10061905>
2. Culligan, E. S. (s. f.). Aplicación de la ergonomía ocupacional en el área de trabajo. *Agua de Eden*. Recuperado de <https://www.aguaeden.es/blog/aplicacion-de-la-ergonomia-ocupacional-en-el-area-de-trabajo>
3. Das, B., Gangopadhyay, S., & Ghosh, T. (2021). The effects of using an ergonomic aid on the physical workload and body discomfort reported by pre-adolescent farmers in West Bengal, India. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*.
4. Das, B. (2023). Work-related musculoskeletal disorders in agriculture: Ergonomics risk assessment and its prevention among Indian farmers. *Work: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 74(4), 1315–1323. <https://doi.org/10.3233/WOR-220246>
5. Hasheminejad, N., Choobineh, A., Mostafavi, R., Tahernejad, S., & Rostami, M. (2022). Prevalence of musculoskeletal disorders, ergonomics risk assessment and implementation of participatory ergonomics program for pistachio farm workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(4), 2187–2195. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1968863>
6. Kirkhorn, S. R., Earle-Richardson, G., & Banks, R. J. (2010). Ergonomic risks and musculoskeletal disorders in production agriculture: Recommendations for effective research to practice. *Journal of Agromedicine*, 15(3), 281–299. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2010.488618>
7. Nogareda Cuixart, S., Muñoz Gómez, F., & Lluís, A. (2013). Carga física en jardinería: principales riesgos y sus consecuencias para la salud (Notas Técnicas de Prevención, 964). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1–6.



8. Pavlíková, E. A., Robb, W., & Šácha, J. (2024). An ergonomic study of arborist work activities. *Heliyon*, 10(4), e26264.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26264>
9. Romano, E., Caruso, L., Longo, D., Vitale, E., Schillaci, G., & Rapisarda, V. (2019). Investigation of hand forces applied to a pruning tool – Pilot study. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 26(3), 472–478.
<https://doi.org/10.26444/aaem/109751>
10. Unión Sindical de Comisiones Obreras de Aragón. (s. f.). *Las caídas durante el trabajo*. Zaragoza: Unión Sindical de Comisiones Obreras de Aragón.



ADMINISTRACIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDA, HERRAMIENTA ABSTRACTA DE LA COMPRESIÓN SITUACIONAL

Autor: Guadalupe Hernández Escobedo

Coautores: Gabriela Anahí Martínez Camacho, Anel Torres López, Arturo Realyvázquez Vargas

Institución de adscripción: Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana

Correo electrónico de contacto: 144onstruct.hernandez@tectijuana.edu.mx

RESUMEN:

Las necesidades actuales de la industria de la construcción fueron enfocadas al uso eficiente de sus recursos. Para ello, el enfoque sostenible fue utilizado dentro de la empresa constructora participante, caso de estudio en esta investigación. Esto fue considerando las problemáticas existentes en dicha empresa, como la carencia de supervisión, nula organización logística del manejo de materiales constructivos y administración de personal, y retraso en el plan de ejecución del proceso constructivo impactando en su costo. Por ello, una guía para la administración de proyectos constructivos fue desarrollada e implementada. Ésta es una herramienta tecnológica aglutinando la administración de proyectos como herramienta abstracta de la comprensión situacional. Es decir, la guía incluye experiencia y conocimiento de dicha administración para eficientizar el uso de recursos involucrados en procesos constructivos. También, ésta permite definir, ejecutar y controlar actividades y tareas del proceso. Asimismo, la evaluación, planeación, ejecución, control y cierre de proyecto fueron definidas como sus fases y los costos presupuestados y el plan de ejecución desarrollado fueron incluidos. Este plan muestra las actividades y tareas a realizar uniendo los elementos productivos, el costo presupuestado y el tiempo requerido. Consecuentemente, el proceso fue mejorado a pesar de la afectación de la inflación a los costos presupuestados. Sin embargo, los costos fueron ajustados y, a su vez, fueron reducidos por haber realizado compras consolidadas y con antelación en consideración del plan de ejecución. También, las diversas actividades y tareas fueron clasificadas en



relación al proceso constructivo considerando el personal y los recursos a emplear. El costo total del proyecto fue 70 % del costo presupuestado y el tiempo señalado en el plan de ejecución. Lo anterior permitió visualizar beneficios del enfoque sostenible en procesos constructivos mediante el desarrollo e implementación de conocimiento y experiencia a través de la guía de administración de proyectos.

PALABRAS CLAVE: Administración de proyectos, costos, guía, proceso constructivo, vivienda

INTRODUCCIÓN:

Nota: El presente documento es resultado parcial de una investigación en curso. Ésta explora diversos conocimientos, experiencias y enfoques como herramientas abstractas en la creación y mantenimiento de la comprensión o conciencia situacional. Esta comprensión, mapa mental usado para comprender situaciones en tiempos y lugares determinados, es considerada como Actividad Humana enfocada a procesos de toma de decisiones informadas. Por ello, aspectos de confidencialidad y éticos han sido considerados a lo largo del proceso de investigación, incluyendo la obtención y el manejo de la información recopilada, análisis, obtención de resultados y uso en la elaboración de documentos de carácter profesional y académico, como el presente documento. El nombre de la empresa participante ha sido omitido por razones de confidencialidad.

Actualmente la industria de la construcción ha tenido que atender diversos retos por afectaciones internas y externas (Gifra, 2017). Dentro de las externas, se tienen la diversidad de empresas que han sido creadas para atender el mercado inmobiliario de la Zona Noroeste de México. Esto debido a factores como la gentrificación por ciudadanos estadounidenses que buscan vivienda en ciudades fronterizas, particularmente aquellas colindantes con el estado de California, Estados Unidos. Por ello, la ciudad de Tijuana fue el contexto considerado ya que se cuentan con accesos a los procesos relativos a la construcción de vivienda requerida en dicho factor, por ejemplo. Por otro lado, los factores internos son aquellos relativos a la operación de procesos constructivos, representando retos en su utilización y empleo. Esto es considerando aquellos que inciden directamente en ellos, como son recursos humanos, materiales constructivos y económicos.



Por ello, el contexto particularmente contemplado en esta investigación es una empresa constructora localizada en la ciudad mencionada, siendo ésta considerada como caso de estudio (Yin, 2014). El proceso constructivo de una vivienda sirvió para recopilar información involucrando el personal participante en dicho proceso. Esto fue porque se encontró que no se utilizaban técnicas y herramientas de administración de proyectos en el proceso constructivo. Además, la documentación generada en los proyectos no era una práctica común de tal forma que no se contaban con procesos o procedimientos estandarizados, registros históricos, entre otras tareas, exhibiendo procesos informales en la construcción de viviendas, siendo situaciones que deben atenderse (Mora, 2016). Por otro lado, la carencia del uso de herramientas de administración de proyectos por parte de los administradores del proceso constructivo fue descubierto (Aceves, 2018). También, fueron encontradas diversas desviaciones en el trabajo rutinario como: sobredimensionamiento de las puertas a instalar, desorganización en la logística seguida en la compra y el uso de materiales constructivos, así como retraso en entrega de las viviendas a los clientes, entre otras.

Las problemáticas señaladas incluyeron los elementos humanos, materiales y económicos. Por ello, el enfoque sostenible fue observado en cada uno de los elementos relacionados a las dimensiones incluidos en el enfoque (Gil, 2018). Es decir, las dimensiones económica, social y sustentable fueron relacionadas a los elementos humanos, materiales y económicos incluidos en el proceso constructivo y las problemáticas señaladas (Vargas, 2014). De la misma forma, fue comprendido que un factor relevante era la parte administrativa estando consciente de cada una de las actividades y tareas que forman parte del proceso (Navarro, 2016). De ahí que, en una fase anterior a este proyecto, fue desarrollada una guía, la cual fue desarrollada como herramienta tecnológica para incrementar el impacto en la administración de proyectos (Rivera, 2011). Esta guía incluyó la definición, ejecución y control de las actividades y tareas requeridas en los proyectos constructivos. Asimismo, fueron definidas cinco fases: evaluación, planeación, ejecución, control y cierre del proyecto (Torres y Torres, 2014). De la misma forma, la guía introdujo el tiempo y el costo como indicadores a usar en el seguimiento del proceso (Rivera, 2011). Es relevante señalar que el tiempo fue convertido en dinero mediante el uso del plan de ejecución donde cada actividad y tarea

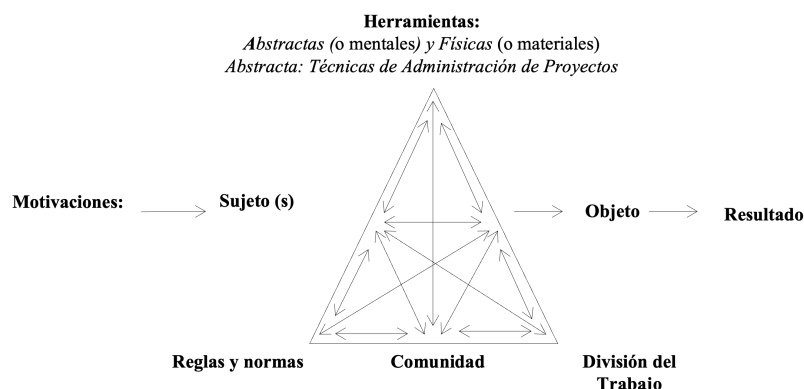


representaban costos que, en caso de retraso, este era incrementado. Es decir, el plan de ejecución fue incluido en la guía señalando que es requisito en la administración de proyectos (Suárez, 2005). También, el plan incluía los presupuestos aunados a cada actividad y tarea a realizar dentro del proceso constructivo (Vázquez, 2015). Por ello, el costo fue el indicador donde confluían ambos indicadores y así usarlo como unidad de impacto dentro de la administración de proyectos.

Por otro lado, la administración de proyectos, desde la perspectiva de actividad humana (Engestrom, 2014), es considerada una herramienta abstracta de la comprensión situacional. Esto es porque los participantes perciben e incluyen todos los elementos del proceso de interés, comprenden su relevancia dentro del proceso y proyectan avances de cada elemento para lograr el objetivo del proceso (Endsley, 2015). Es decir, los participantes necesitan crear y mantener un mapa mental para comprender cada una de las actividades y tareas dentro del proceso constructivo, en este particular caso de estudio, para tomar decisiones informadas dentro de éste. El objetivo fue claramente definido por el proceso constructivo alineado a las necesidades de los clientes, ya que la vivienda es diseñada en común acuerdo con el cliente. La Figura 1 exhibe en forma general el diagrama del sistema de actividad humana comprensión situacional y la administración de proyectos como herramienta abstracta. Es señalado que dicha herramienta impacta en la actividad señalada.

Figura 1

Sistema de Actividad Humana Comprensión Situacional



Esto fue porque la guía incluyó conocimientos y experiencias de la administración de proyectos en contextos similares. Es decir, los participantes participaron proponiendo y



añadiendo información a la guía con diversas actividades y tareas que involucraban elementos humanos, materiales y económicos. De la misma forma, se utilizaron diversos conocimientos teóricos para su desarrollo y particularmente, la guía del Instituto de Administración de Proyectos (PMI, 2021). El resultado fue la guía para la administración de proyectos, la cual sirve para generar la documentación requerida en las actividades y tareas de cada proyecto (Zambrano, 1998). Esta información fue enfocada en el control de los materiales, el tiempo considerado en el proyecto, los presupuestos de cada actividad considerada en el proceso y los potenciales factores que pueden afectarlo, pudiendo ser los recursos humanos empleados, la calidad de los materiales usados y las tareas realizadas, entre otros. La figura 2 presenta un cronograma señalando las actividades a realizar, el tiempo requerido y quien supervisará éstas.

Figura 2

Cronograma de actividades

Actividad	Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Encargado
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Supervisión de obra																					Antonio
Generar la liberación de la cimentación																					Antonio y Marco
Generar el reporte fotográfico																					Marco
Planificar las compras de material																					Anahi
Cuantificación de materiales																					Marco
Garantías																					Marco/Anahi
Planificación de obra																					Antonio
Logística																					Anahi
Asistir a juntas con el cliente																					Todos
Supervisión de calidad																					Anahi

Por otro lado, la elaboración de la guía permitió descubrir las limitaciones del conocimiento de la administración de proyectos por los participantes. Es decir, los participantes requieren capacitación en el área. Asimismo, los comportamientos inadecuados por falta de seguimiento de las actividades necesarias en la administración de proyectos fueron aspectos considerados (Vargas, 2014). Otra área de oportunidad fue el área de motivación. Además, las comparaciones de los presupuestos realizados y los costos incurridos fueron usados para el seguimiento del proceso. Esto fue añadido en la guía desarrollada y la cual fue implantada, considerando que esta es una herramienta para tener ventajas competitivas. El presente documento solamente informa resultados parciales, acorde a lo señalado en la nota de la sección inicial. La Tabla 1 exhibe un ejemplo de presupuesto realizado.

Tabla 1



Presupuesto realizado año 0

Clave	Concepto	Importe
0	CONTRATO GENERAL	\$987,972.42
	OBRA NEGRA	\$565,884.04
1.00	Preliminares	\$9,058.22
2.00	Cimentación	\$33,115.39
3.00	Losa de cimentación	\$56,633.11
4.00	Muros planta baja	\$135,773.41
5.00	Losa de entrepiso N1	\$76,526.94
6.00	Muros nivel 1	\$101,121.63
7.00	Losa de entrepiso N2	\$74,335.21
8.00	Muros nivel 2 (TERRAZA)	\$29,246.58
9.00	Losa de azotea	\$15,797.44
10.00	Rampa de escalera	\$34,059.39
11.00	Trabajos de azotea	\$27,897.57
12.00	Tablaroca	\$2,157.14
13.00	Albañilerías	\$46,688.95
	ACABADOS	\$422,088.38
14.00	Pisos y muros	\$53,942.64
15.00	Carpintería	\$55,221.55
16.00	Herrerías	\$29,932.18
17.00	Pintura	\$39,568.82
18.00	Preliminares hidrosanitarios y pluvial	\$6,209.04
19.00	Instalación sanitaria	\$21,035.79
20.00	Instalación hidráulica	\$18,319.45
21.00	Instalación pluvial	\$4,387.77
22.00	Muebles de baño	\$71,962.14
23.00	Instalación eléctrica	\$61,631.90
24.00	Instalación de gas	\$17,930.65
25.00	Obra exterior	\$23,968.50
26.00	Limpiezas	\$17,977.95

OBJETIVO:

Reducir los tiempos de servicio en las actividades y tareas en proyecto constructivo mediante técnicas de administración de proyectos para reducir costos del proceso.

METODOLOGÍA:

La implementación de la guía en el proceso constructivo de la vivienda incluyó cinco fases permitiendo definir, ejecutar y controlar las actividades y tareas de dicho proceso (Zambrano, 1998). Asimismo, su implementación incorporó el uso eficiente de los recursos considerando el costo como su principal referente. De la misma forma, el plan de ejecución y los presupuestos introdujeron los costos. Por un lado, el plan de ejecución exhibe las actividades y tareas necesarias del proceso constructivo. Por otro lado, los costos implicados por cada una de dichas actividades y tareas son presupuestados dentro de dicho plan de ejecución. Es decir, el plan de ejecución une las actividades y tareas a los costos implícitos por llevarlas a cabo. Es importante señalar que el tiempo es un recurso que es contenido en el plan para el respectivo seguimiento a través de

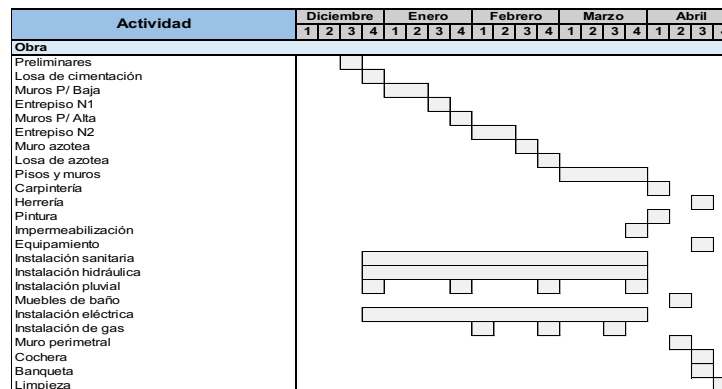


llevar a cabo las actividades y tareas del proceso. Las fases realizadas son presentadas:

1. La primera fase sirvió para definir los roles incluyendo responsabilidades y autoridad para cada miembro del equipo, programar la compra de materiales y definir la ingeniería básica y detalle, incluyendo planos, dibujos arquitectónicos y plan de acción, cuantificando los volúmenes de obra para así estimar los materiales a usar y enfatizando las necesidades de los clientes. La Figura 2 presentó un ejemplo de la definición de roles incluyendo responsabilidades y autoridad dentro del proceso.
2. La segunda fase incluyó la programación de las actividades a través del tiempo y el impacto en el costo. Para ello, se utilizaron las gráficas de Gantt y de Ruta Crítica y la técnica Estructura de Alcance de Obra, descubriendo las herramientas y materiales a usar en cada actividad y tarea. La Figura 3 muestra particularmente determinadas actividades del proceso constructivo exhibido en una gráfica de Gantt.

Figura 3

Cronograma de proceso 150onstructive



3. La tercera fase sirvió para realizar las actividades y tareas programadas y de forma particular, aquellas relacionadas con órdenes de compra de materiales constructivos y su seguimiento, abastecimiento y comparación de materiales solicitados y recibidos. Diversas estrategias fueron realizadas, por ejemplo, una de ellas fue la comparación de costos de los materiales con diversos proveedores de la localidad. La tabla 2 presenta un ejemplo de una comparación realizada.

Tabla 2



Materiales	U.M	ACEROS FRONTERA	HOME DEPOT	CEMEX	COFIASA
		P.U	P.U	P.U	P.U
Alambre recocido	kg	\$ 27.70		\$ 34.40	
Alambrón	kg	\$ 20.34	\$ 22.10	\$ 20.60	
Varillin 1/4 Tec 60	Pza	\$ 30.24			\$ 29.33
Malla electrosoldada 6-6/4-4	Rollo		\$ 6,105.00		
Varilla 3/8	kg	\$ 17.50	\$ 19.95	\$ 19.60	
Varilla 1/2	kg	\$ 17.50	\$ 19.95	\$ 19.60	
Varillin 5/16" Tec 60	pza	\$ 30.24			\$ 29.33
Malla electrosoldada 6-6/10-10	Rollo	\$ 2,700.00	\$ 2,640.00	\$ 2,945.00	

Comparativa de precio de compra del acero

- La cuarta fase sirvió para controlar las actividades y tareas realizadas incluyendo los recursos implicados como el personal y materiales. Esto incorporó el uso de diversos documentos desarrollados para llevar a cabo esta fase. Aquí particularmente se registraron los recursos usados en las actividades y tareas. La Tabla 3 presenta un ejemplo de costo unitario por concepto de colocación de acabados de yeso en la construcción de la vivienda.

Tabla 3

Costo de contratista de acabados

PRECIO UNITARIO				
Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Albañil	Jor	1	\$700.00	\$700
Ayudante	Jor	1	\$350.00	\$350
Herramienta	(% M.O.)	5%	\$1,050.00	\$52.50
			Total	\$1,102.50
Rendimiento	Jor/m2	0.06		\$68.91
			Total P.U.	\$68.91

- La última fase fue enfocada en realizar comparativas de los resultados obtenidos durante todo el proyecto. Esto incluyó la obtención de conclusiones y recomendaciones para futuros proyectos constructivos. También, esta fase fue realizada evaluando la satisfacción del cliente y la operación rutinaria de la empresa. Las comparativas fueron realizadas cada semana para así, tener conocimiento durante todo el proyecto. La Figura 4 presenta el control realizado de los diversos contratistas o personal externo que contribuyó en el proceso constructivo, denominando dicho control como “Seguimiento de Obra”.



Figura 4

Seguimiento de obra a personal externo

Monitoreo de obra										
	#	MZA	LOTE	TIPO	CONTRATISTA	I. DE CONTRATO	AVALLUO/ ESCRITURA	ENTREGA	ESTATUS	MESES/ MEJORA
GPO 4	1	254	7 B	PONZA L	ODERAMU	17/FEB/21	ESCRITURA	25/06/21	CIERRE	
	2	255	6 B	SCALA	ODERAMU	02/MAR/21	VALUADA	POR DEFINIR	DESFASE	6.5/ A
	3	255	8 A	SCALA	ODERAMU	02/MAR/21	VALUADA	POR DEFINIR	DESFASE	6.5 / A
	4	254	1 A	LAURIA	IBRUIZ / LAISSA	09/MAR/21	09/08/21		DESFASE	6.5 E
	5	254	7 D	LAURIA	IBRUIZ / LAISSA	14/MAR/21	09/08/21		DESFASE	4 / E
GPO 6	6	259	2S	POSITANO	XIMA	12/ABR/21	VALUADA	24/06/21	CIERRE	A
	7	258	2C	SORA	XIMA	12/ABR/21	VALUADA	POR DEFINIR	CIERRE	A
	8	254	7C	SORA 16	AMECA	12/ABR/21	10/07/21		DESFASE	5.5 E
	9	254	8A	LAURIA	IBRUIZ	12/ABR/21	30/07/21		DESFASE	5.5 E
	10	254	8C	PONZA B	AMECA	24/ABR/21	09/08/21		DESFASE	5 / E D
	11	254	8D	SORA 16	AMECA	30/ABR/21	09/08/21		DESFASE	4 / E D
GPO 7	12	258	6F	SCALA	JC	05/07/21	05/07/21		EN TIEMPO	
	13	258	6B	SCALA	JC	11/07/21	11/07/21		EN TIEMPO	
	14	258	6C	SCALA	JC	05/08/21	05/08/21		EN TIEMPO	
	15	258	7A	SCALA	JC	12/08/21	12/08/21		EN TIEMPO	
	16	259	38	POSITANO	XIMA	05/08/21	05/08/21		EN TIEMPO	
GPO 8	17	259	37	POSITANO	XIMA	12/08/21	12/08/21		EN TIEMPO	
	18	258	7B	SCALA	JC	19/08/21	19/08/21		EN TIEMPO	
	19	258	1A	SORA	XIMA	19/08/21	19/08/21		EN TIEMPO	
	20	258	7C	SCALA	JC	09/09/21	09/09/21		EN TIEMPO	
	21	259	35	POSITANO	JC	09/09/21	09/09/21		EN TIEMPO	
GPO 9	22	259	36	POSITANO	XIMA	24/09/21	24/09/21		ATRASO	E
	23	259	34	POSITANO	JC	24/09/21	24/09/21		EN TIEMPO	
	24	259	33	POSITANO	JC	24/09/21	24/09/21		EN TIEMPO	
	25	259	32	POSITANO	JC	01/10/21	01/10/21		EN TIEMPO	
GPO 10	26	259	31	POSITANO	JC	01/10/21	01/10/21		EN TIEMPO	
	27	259	26	POSITANO	JC	01/10/21	01/10/21		EN TIEMPO	
	28	259	27	POSITANO	JC	08/10/21	08/10/21		EN TIEMPO	
	29	259	28	POSITANO	JC	08/10/21	08/10/21		EN TIEMPO	
	30	256	29	POSITANO	JC	08/10/21	08/10/21		EN TIEMPO	

RESULTADOS;

Los resultados obtenidos fueron enfocados en dar seguimiento a las fases presentadas dentro de la guía desarrollada e implementada. Inicialmente, la guía tenía por objetivo apoyar cada una de las actividades y tareas dentro del proceso constructivo. Esto para poder atender las problemáticas presentadas. Por otro lado, el proceso en sí fue mejorado al crear conciencia de cada uno de los elementos humanos, materiales y



económicos dentro del proceso constructivo. Esto fue observado en el uso de los diversos apoyos visuales desarrollados e implementados durante el proceso. Aunque fue presentada en la sección anterior las fases llevadas a cabo en el proyecto, la actualización del presupuesto fue inicialmente realizada. Esto fue porque el proyecto fue autorizado 12 meses después resultando un incremento del presupuesto, como es presentado en la Tabla 4. La diferencia adicional fue de aproximadamente 42.44 %. La tabla 1 y 4 presentan los presupuestos en el año 0 y 1, respectivamente. Esto representaba la actualización de las erogaciones a ejecutar en relación directa con el plan de ejecución; sin embargo, el tiempo señalado en dicho plan no tuvo cambios.

Tabla 4

Presupuesto realizado, año 1

Clave	Concepto	Importe
0	CONTRATO GENERAL	\$1,407,358.22
	OBRA NEGRA	\$705,879.76
1.00	Preliminares	\$32,302.02
2.00	Cimentación	\$33,550.64
3.00	Losa de cimentación	\$68,112.23
4.00	Muros planta baja	\$159,778.40
5.00	Losa de entrepiso N1	\$78,828.97
6.00	Muros nivel 1	\$94,501.31
7.00	Losa de entrepiso N2	\$69,417.48
8.00	Muros nivel 2 (TERRAZA)	\$24,997.42
9.00	Losa de azotea	\$13,602.74
10.00	Rampa de escalera	\$38,397.29
11.00	Trabajos de azotea	\$37,946.31
13.00	Albañilerías	\$54,444.95
	ACABADOS	\$701,478.46
14.00	Pisos y muros	\$223,772.47
15.00	Carpintería	\$53,954.71
16.00	Herrerías	\$58,571.00
17.00	Pintura	\$74,229.28
18.00	Preliminares hidrosanitarios y pluvial	\$16,566.88
19.00	Instalación sanitaria	\$21,175.08
20.00	Instalación hidráulica	\$28,450.17
21.00	Instalación pluvial	\$9,668.78
22.00	Muebles de baño	\$82,639.84
23.00	Instalación eléctrica	\$67,247.47
24.00	Instalación de gas	\$22,219.67
25.00	Obra exterior	\$28,109.14
26.00	Limpiezas	\$14,873.97

De la misma forma, diversas actividades fueron realizadas dentro de cada una de las fases de administración del proyecto de tal forma que los costos fueron reducidos y los tiempos programados se utilizaron completamente. Por ejemplo, la reducción de costo fue realizado por compras de materiales y su transporte de forma paralela al plan de ejecución. Es decir, los materiales fueron comprados mediante compras consolidados y realizadas con antelación y su transporte fue realizado de acuerdo al plan de ejecución.



Asimismo, cada actividad y tarea dentro del proceso constructivo fue clasificada dentro de los rubros obra negra, acabados e instalaciones eléctricas e hidráulicas. Asimismo, diversos formatos fueron creados y utilizados durante el proceso constructivo para el control de la obra y así, verificar puntualmente la reducción de los costos incurridos en cada actividad y tarea. En el cierre del proyecto se permitió cuantificar el costo y la duración del proyecto, siendo aproximadamente 70 % del costo presupuestado y 100 % del tiempo programado (4.5 meses). Es decir, el costo final de la construcción de la vivienda fue aproximadamente el costo presupuestado en el año 0, teniendo beneficios económicos tangibles a consecuencia de la administración del proceso constructivo, específicamente en la administración de los tiempos de servicio.

CONCLUSIONES:

La utilización de la guía desarrollada para administrar proyectos permitió la mejora de las actividades y tareas que componen el proceso constructivo. Lo anterior pudo ser corroborado en los costos en el proceso constructivo de casa habitación. Para ello, la guía de administración de proyectos fue desarrollada considerando experiencias conocimientos de personal involucrado en procesos constructivos. De la misma forma, conocimientos teóricos fueron añadidos para entrelazar los conocimientos y experiencias personales con el conocimiento generado por teóricos de las áreas de Administración de Proyectos y Desarrollo Sostenible, particularmente la dimensión económica. Asimismo, es relevante señalar que la implementación de la guía permitió hacer comparaciones con el conocimiento teórica y se encontró que, en ocasiones, lo señalado en la teoría se aleja de la práctica. Esto puede ser comprendido que dichas experiencias deben ser añadidas al conocimiento teórico, esto con el fin de incrementarlo para futuras prácticas en proyectos de índole constructivo, impactando directamente en los ámbitos social, sustentable y económico. La vivienda en sí involucra dichos ámbitos o dimensiones.

Asimismo, la creación y mantenimiento de la conciencia situacional dentro del proceso constructivo fue necesaria para llevar a buen término le proyecto. Esto involucraba a los participantes que particularmente se enfocaban en administrar el proyecto con el uso de documentación. De esta forma se obtenía información clara de los avances y retrocesos que se tuvieron dentro del proceso constructivo. Asimismo, los mapas mentales crearon



oportunidades al comprender las interrelaciones existentes entre los elementos considerados. De la misma forma, dicha interrelación ayudó a crear relaciones a otros niveles al considerar las necesidades de los materiales constructivos dentro de cada una de las actividades y tareas de dicho proceso. En consecuencia, se tuvieron proyecciones de cada uno de los estados de los elementos del proceso impactando directamente en el indicador considerado como preponderante del proceso. Es decir, las proyecciones fueron enfocadas en la consideración de los costos implícitos.

Por otro lado, en su implementación, la guía proporcionó la visualización de áreas de oportunidad que impactaban en los costos, permitiendo su clara reducción priorizándolos antes del tiempo programado. Asimismo, ésta permitió el control de calidad del proceso constructivo, incluyendo actividades, tareas, materiales e insumos, personal y tiempo programado considerado en la ruta crítica del proyecto. Por otro lado, la guía proporciona una forma flexible para atender otro tipo de procesos constructivos, abriendo la posibilidad para sistematizar su utilización en la organización participante. Esta guía también puede ser transferida como herramienta tecnológica a otras empresas constructoras de la localidad, región o del país para que obtengan beneficios a través de su aplicación. Esto es a partir de la necesidad de capacitar al personal en su uso, permitiendo añadirlo a proyectos futuros y atender la resistencia al cambio que pueda generarse por ello. Consecuentemente, la guía pueda generar sinergias para se adopten nuevas formas de trabajo y colaboración dentro y fuera de la organización participante ya que, en ocasiones, prestan servicios de construcción a particulares u otras empresas constructoras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM/Instituto Tecnológico de Tijuana por financiar el presente estudio. También, se agradece a la organización y los participantes sus contribuciones a esta investigación. Sin embargo, las interpretaciones y puntos de vista señalados en este documento son solamente de los autores.



REFERENCIAS:

1. Aceves, P. (2018). Administración de proyectos-Enfoque por competencias. México: Patria Educación.
2. Endsley, M. R. (2015). Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *Journal of cognitive Engineering and Decision making*, 9(1), 4-32.
3. Engeström, Y. (2014). Activity theory and learning at work. In *Tätigkeit-Aneignung-Bildung: Positionierungen zwischen Virtualität und Gegenständlichkeit* (pp. 67-96). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
4. Gifra, E. (2017). Desarrollo de un modelo para el seguimiento y control económico y temporal durante la fase de ejecución en la obra pública. España: Universitat de Girona.
5. Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (140), 107-118.
6. Mora, F. (2016). Administración, planeación y control de proyectos en la construcción. México: IPN, Escuela superior de ingeniería y arquitectura unidad Zacatenco. Tesis de título de Ingeniero Civil.
7. Navarro, R. (2016). Diseño y dimensionamiento de la estructura y cimentación de un edificio en Sagunto (Valencia). España: Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Trabajo Final de Grado en Ingeniería de Obras Públicas.
8. Project Management Institute -PMI-. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)–Seventh Edition and The Standard for Project Management. Project Management Institute.
9. Rivera, N. (2011). Sistema administrativo con enfoque en liderazgo en empresas constructoras del área metropolitana de Monterrey. Monterrey: UANL, Facultad de arquitectura. Tesis de Maestría en Administración de la Construcción.
10. Suárez, C. (2005). Administración de empresas constructoras. México: Limusa.
11. Torres, Z. & Torres, H. (2014). Administración de proyectos. México: Patria.
12. Vargas, A. (2014). Plan de gestión para la ejecución de proyectos de vivienda de la empresa Servicios Técnicos para la Construcción Quepos S.A. Costa rica:



Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción. Tesis de título de Ingeniero en Construcción.

13. Vásquez, P. (2015). Diseño de un manual de gestión de compras y procedimientos para la evaluación y calificación de proveedores caso: Pasamanería S.A. Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. Tesis de título de Ingeniero Industrial.
14. Yin, R. K. (2014). Case study research: Design and methods (applied social research methods).
15. Zambrano, A. (1998). Administración de proyectos de construcción. México: UANL, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Tesis de Maestría en Ciencias de la Administración con Especialidad en Relaciones Industriales



VECTOR 5. EDUCACIÓN COMO VECTOR

TRANSFORMADOR: PRÁCTICAS, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍAS PARA LA JUSTICIA SOCIAL.

En respuesta a enfrentar los retos que nos marca la sociedad en relación con la educación, dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030 se promueve una educación con equidad, inclusión y justicia social e innovación educativa con la finalidad de cerrar brechas sociales. Este vector se fundamenta en el Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México, incorporando como pilares una educación pública, humanista, tecnológica y de calidad, contribuyendo la formación integral al bienestar colectivo y al desarrollo sostenible. Promoviendo metodologías activas y centradas en el estudiante, fortaleciendo competencias ciudadanas, éticas y profesionales; desarrollando ambientes de incubadoras, innovación y proyectos integradores, permitiendo de esta manera la resolución de problemas reales, fomentar el pensamiento crítico y la vinculación con el entorno. Asimismo, el vector se alinea con el PND en el desarrollo con bienestar, sustentabilidad e inclusión, siendo la educación superior una herramienta para el empoderamiento y movilidad social.



APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE FEYNMAN EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS COMO ESTRATEGIA DE APRENDIZAJE PROFUNDO

Autor: J. A. Gamez-Corrales

Coautores: G. Ochoa-Salcido

Institución de adscripción: Departamento de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Industrial Instituto Tecnológico de Hermosillo

Correo electrónico de contacto: jose.gamezc@hermosillo.tecnm.mx

Resumen:

En el ámbito universitario, especialmente en carreras de ciencia, tecnología e ingeniería, es frecuente observar que los estudiantes logran aprobar exámenes sin necesariamente haber comprendido a fondo los conceptos. Esta situación refleja un aprendizaje superficial, donde se prioriza la memorización sobre la comprensión.

Como consecuencia, los alumnos enfrentan dificultades al aplicar los conocimientos adquiridos a nuevos contextos o problemas reales. Frente a este escenario, surge la necesidad de implementar estrategias de aprendizaje activo que promuevan la comprensión profunda y el desarrollo del pensamiento crítico. Una de las metodologías más prometedoras en este sentido es la técnica de Feynman, nombrada así por el físico Richard Feynman, quien creía que la mejor forma de demostrar que entiendes algo, es ser capaz de explicarlo de manera simple.

El presente trabajo de investigación surge al pretender ser compatible la enseñanza, con las habilidades que los Jóvenes han adquirido durante sus aprendizajes, en los tiempos de modalidades virtuales, donde los estudiantes desarrollaron habilidades tecnológicas, de reorganización de tareas, paciencia y autocontención ante sus estados emocionales, con lo que lograron cierta autonomía, pues el contacto con sus docentes fue asincrónico en muchas actividades.

Se realizó un estudio, con esta técnica en una modalidad de aplicación cuasi-experimental con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), en el que participaron 78 estudiantes universitarios, de las materias de Física de Semiconductores y Materiales Avanzados, materias de segundo y quinto año de carreras en ingeniería del Instituto Tecnológico de Hermosillo, y en las que se amerita una exigente comprensión para poder seguir adelante en el aprendizaje.



Planteamiento del problema:

En el ámbito universitario, especialmente en carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), es frecuente observar que los estudiantes logran aprobar exámenes sin necesariamente haber comprendido a fondo los conceptos. Esta situación refleja un aprendizaje superficial, donde se prioriza la memorización sobre la comprensión. Como consecuencia, los alumnos enfrentan dificultades al aplicar los conocimientos adquiridos a nuevos contextos o problemas reales.

Frente a este escenario, surge la necesidad de implementar estrategias de aprendizaje activo que promuevan la comprensión profunda y el desarrollo del pensamiento crítico. Una de las metodologías más prometedoras en este sentido es la técnica de Feynman, nombrada así por el físico Richard Feynman, quien creía que la mejor forma de demostrar que entiendes algo es ser capaz de explicarlo de manera simple.

Objetivo:

El objetivo principal de este artículo es exponer la efectividad de la técnica de Feynman como herramienta para mejorar la comprensión conceptual y la retención del conocimiento en estudiantes universitarios. Se busca analizar cómo la aplicación sistemática de esta técnica puede impactar positivamente en el desempeño académico, en la capacidad de comunicación científica y en la autoconfianza del estudiante al explicar temas complejos.

Metodología:

3.1.- Diseño del estudio:

Se llevó a cabo un estudio de tipo cuasi-experimental con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), en el que participaron 40 estudiantes de materia de *física de semiconductores* de segundo, y 39 estudiantes de la materia de *materiales avanzados* de quinto año de las carreras de ingeniería del Instituto Tecnológico Hermosillo. Ambos grupos fueron divididos en grupo control y grupo experimental. Y se trabajaron temas muy específicos, y centrales de cada una de las materias.

Los estudiantes del grupo control asistían al curso sin instrucción previa, mientras que los estudiantes del grupo experimental recibieron una capacitación en base a la metodología que se pretendía implementar, la cual consistió en las siguientes fases:

Capacitación:

Los estudiantes recibieron una breve capacitación sobre la técnica de Feynman, que consiste en cuatro pasos clave:



Seleccionar un concepto o tema, que se desee aprender o repasar.

Explicar el concepto en términos simples, como si se enseñara a un Joven de secundaria.

Identificar vacíos de comprensión durante la explicación.

Revisar, simplificar y refinar la explicación, usando analogías o ejemplos cotidianos.

Aplicación:

Durante dos semanas, los estudiantes debían aplicar la técnica de Feynman en temas seleccionados de sus asignaturas (física semiconductores, materiales avanzados). Cada estudiante debía entregar una explicación escrita, una exposición presencial o grabada en audio-video, usando lenguaje simple y ejemplos. Adicionalmente, se realizaron sesiones grupales de retroalimentación donde los compañeros evaluaban la claridad y precisión de las explicaciones.

Evaluación:

Se utilizaron las siguientes herramientas para medir el impacto:

Pre y post-test para evaluar comprensión conceptual.

Encuestas de percepción estudiantil sobre la técnica.

Entrevistas semi-estructuradas a un grupo focal de estudiantes y docentes.

Análisis cualitativo de las explicaciones generadas (coherencia, claridad, uso de analogías, etc.).

3.2.- Diseño del Experimento:

Tabla 1:

Diseño del Experimento

Grupo	Método de estudio	N° Estudiantes
Grupo Control	Estudio tradicional (lectura, resumen)	20
Grupo Experimental	Técnica Feynman (explicación simple, autoevaluación)	20

3.4.- Diseño de Test:

Se diseñaron los siguientes pre test y post test para ambas materias, las cuales consistieron de la siguiente manera:

Tabla 2

Diseño de Test

Etapa	Pre
Materia	Física de Semiconductores
Tema	Unión NP, PNP



1. ¿Qué es un semiconductor y cuáles son sus características principales?
2. Explica con tus propias palabras qué es una unión PN.
3. ¿Qué ocurre cuando un semiconductor tipo P se une con un tipo N?
4. Define corriente directa (DC) y corriente inversa (IR) en una unión PN.
5. ¿Cuál es la función de un diodo en un circuito eléctrico?
6. Describe cómo se comporta la unión PN en polarización directa.
7. Describe cómo se comporta la unión PN en polarización inversa.
8. ¿Qué es un transistor PNP y cómo está formado?
9. Explica el papel de la base, emisor y colector en un transistor PNP.
10. De algunas aplicaciones de cada unión.

Tabla

3

Etapa	Post
Materia	Física de Semiconductores
Tema	Unión NP, PNP

1. Explica la unión PN como si tuvieras que enseñársela a un compañero que nunca ha oído del tema.
2. Dibuja y describe cómo fluye la corriente en una unión PN en polarización directa.
3. Dibuja y explica qué sucede en polarización inversa.
4. Analiza qué pasaría si conectamos un diodo al revés en un circuito de corriente continua.
5. Describe con tus palabras cómo funciona un transistor PNP para amplificar corriente.
6. Explica la relación entre corriente de base y corriente de colector en un transistor PNP.
7. Diseña un ejemplo de circuito sencillo usando un diodo y explica su funcionamiento.
8. Si un transistor PNP no enciende, ¿qué podría estar fallando? Explica tu razonamiento.
9. Compara la unión PN con un transistor PNP: similitudes y diferencias.
10. Explica cómo usar la técnica Feynman para estudiar los semiconductores y transistores.



Tabla 4

Etapa	Pre
Materia	Materiales Avanzados
Tema	Fibras de Carbón

¿Cuáles son las principales ventajas de utilizar materiales compuestos de fibra de carbono y resina epoxi en la fabricación de estructuras aeroespaciales?

¿Cómo afecta la relación entre la fibra de carbono y la resina epoxi en las propiedades mecánicas del material compuesto?

¿Qué factores deben considerar los ingenieros al seleccionar materiales para las alas de un avión comercial?

¿De qué manera la alta resistencia y ligereza de los materiales compuestos influyen en la eficiencia del combustible de un avión?

¿Cómo se comporta el material compuesto bajo cargas aerodinámicas durante el vuelo de un avión?

¿Qué tipo de pruebas se realizan para garantizar que un material compuesto pueda soportar las cargas estructurales en la aeronave?

¿Cuáles son las implicaciones de la resistencia térmica de los materiales compuestos en un avión comercial, especialmente durante el vuelo a altas altitudes?

¿Cómo se controla la integridad estructural de los materiales compuestos a lo largo de la vida útil de un avión?

¿Qué desafíos enfrentan los ingenieros al combinar fibras de carbono y resina epoxi en términos de fabricación y mantenimiento?

¿Cómo influye la manufactura de materiales compuestos en la sostenibilidad ambiental de los aviones comerciales?

Tabla 5

Etapa	Post
Materia	Materiales Avanzados
Tema	Fibras de Carbón

¿Cómo influye el volumen de fibra en el material compuesto en sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción?



¿Cuál es la diferencia en las propiedades mecánicas entre las fibras de carbono y la resina epoxi en términos de resistencia a la tracción?

¿Cómo se calcula la resistencia a la tracción total de un material compuesto de fibra de carbono y resina epoxi, considerando el volumen de fibra de 60%?

¿Qué impacto tiene el módulo de Young de las fibras de carbono y la resina epoxi en la rigidez general del material compuesto?

¿Qué efecto tendría aumentar el volumen de fibra en el material compuesto sobre la resistencia y la rigidez del mismo?

¿Cómo se calcula la rigidez de un material compuesto a partir del módulo de Young de sus componentes (fibra de carbono y resina epoxi)?

¿Qué propiedades deben tener las fibras de carbono y la resina epoxi para garantizar que el material compuesto sea adecuado para estructuras aerodinámicas?

¿Cómo podría afectar la diferencia en los módulos de Young de las fibras de carbono y la resina epoxi a la distribución de esfuerzos en un componente estructural del avión?

¿Por qué es importante conocer la resistencia a la tracción y el módulo de Young de cada componente (fibra y resina) al diseñar una estructura aeroespacial?

¿Qué podría ocurrir si la resina epoxi tiene un módulo de Young significativamente más bajo en comparación con las fibras de carbono al someterse a una carga aerodinámica en vuelo?

3.5.- Rúbrica:

Para evaluaciones:

Tabla

6

Evaluaciones

Evaluación	Momento	Tipo
Pre-test	Antes de estudiar	10 preguntas conceptuales (100 pts)
Post-test	Después de estudiar	10 preguntas (idénticas pero mezcladas)
Retención diferida	2 semanas después	10 preguntas nuevas, mismo nivel



Para explicación

Cada estudiante del grupo experimental presenta su explicación del concepto. Evaluada por el docente.

Tabla 7

Explicación

Criterio	Puntos posibles	Descripción
1. Claridad y simplicidad	10	¿Explica con palabras propias y simples sin sacrificar precisión?
2. Uso de analogías apropiadas	10	¿Utiliza comparaciones útiles para explicar conceptos abstractos?
3. Corrección científica	10	¿Contiene errores conceptuales?
4. Detección de vacíos y mejora	10	¿Identifica lo que no entiende y mejora su explicación?
5. Organización de ideas	10	¿Presenta la explicación de forma ordenada y coherente?

Puntaje total: /50

Resultados:

La técnica fue aplicada a grupo de estudiantes de Física de Semiconductores -Ingeniería Electrónica- tercer semestre (segundo año) y a los estudiantes de Materiales Avanzados -Ingeniería Mecánica- de noveno semestre (quinto año). En cada materia se construyeron grupo control y grupo experimental.

La discusión de los resultados que exponemos se centra únicamente en los estudiantes de *física de semiconductores*, ya que son estudiantes que van iniciando su formación, y formarán parte del seguimiento académico. El grupo de la materia de *materiales avanzados* nos permitió a los autores construir criterios de madurez referenciales.

A.- Resultados de cada uno de los 38 estudiantes:



Tabla

Resultados

Estudiante	Grupo	Pre-test	Post-test	Retención (%)
1	Experimental	7	9	20.0
2	Experimental	8	9	10.0
3	Experimental	5	7	20.0
4	Experimental	7	8	10.0
5	Experimental	6	9	30.0
6	Experimental	5	8	30.0
7	Experimental	7	9	20.0
8	Experimental	6	8	20.0
9	Experimental	5	7	20.0
10	Experimental	6	9	30.0
11	Experimental	7	9	20.0
12	Experimental	8	10	20.0
13	Experimental	6	8	20.0
14	Experimental	5	8	30.0
15	Experimental	7	9	20.0
16	Experimental	6	8	20.0
17	Experimental	5	8	30.0
18	Experimental	6	9	30.0
19	Experimental	7	9	20.0
20	Control	6	7	10.0
21	Control	7	8	10.0
22	Control	6	7	10.0
23	Control	5	6	10.0
24	Control	7	8	10.0
25	Control	6	7	10.0
26	Control	5	6	10.0
27	Control	6	7	10.0
28	Control	5	6	10.0
29	Control	6	7	10.0
30	Control	7	8	10.0



31	Control	6	7	10.0
32	Control	5	6	10.0
33	Control	7	8	10.0
34	Control	6	7	10.0
35	Control	5	6	10.0
36	Control	7	8	10.0
37	Control	6	7	10.0
38	Control	5	6	10.0

B.- Cálculo de la retención media, se realizó con la siguiente expresión matemática.

$$Retención\ Media\ (\%) = \frac{(Puntuación\ promedio\ Post-test) - (Puntuación\ promedio\ Pre-test)}{Puntuación\ Máxima} \quad (1)$$

C.- Resultados de los tests:

Tabla

9

Resultados

Grupo	Promedio Pre-test	Promedio Post-test	Retención Media (%)
Experimental	6.0	8.4	24.0
Control	6.1	7.0	9.0

Tabla de resultados de los test realizados a cada grupo pre y post, a la presentación del tema.

Mejora promedio (Post - Pre):

Grupo Control: +0.9 pts

Grupo Feynman: +2.4 pts

Retención (Retención - Post):

Control: 9.0 pts

Feynman: 24.0 pts

B. Resultados de la rúbrica de explicación (Grupo Experimental):0



Tabla 10

Resultados

Criterio	Promedio (sobre 10)
Claridad y simplicidad	8.6
Uso de analogías	7.8
Corrección científica	9.2
Detección de vacíos/mejora	7.5
Organización de ideas	8.3
Total promedio (/50)	41.4

C. Correlación entre puntaje de rúbrica y post-test:

$r = 0.72$ (correlación positiva fuerte):

Esto sugiere que los estudiantes que explicaron mejor, también obtuvieron mejores resultados en el post-test.

Discusión de resultados:

Mejora en la comprensión conceptual:

Los resultados cuantitativos mostraron una mejora promedio del 22% en las puntuaciones del post-test en comparación con el pre-test, especialmente en preguntas que requerían aplicación y análisis, más que simple reconocimiento. Esto sugiere que la técnica ayudó a los estudiantes a construir representaciones mentales más robustas.

Desarrollo de habilidades metacognitivas:

Muchos estudiantes reportaron que, al intentar explicar un concepto, detectaban sus propias lagunas de conocimiento, lo cual los obligaba a revisar y reorganizar la información. Este proceso reforzó su aprendizaje y desarrolló habilidades metacognitivas esenciales en la educación superior.

Incremento de la autoconfianza:

Según las encuestas, el 85% de los participantes indicó que se sentía más seguro de sus conocimientos después de haber explicado los temas con sus propias palabras. Este resultado se alinea con los principios del aprendizaje activo, donde el alumno se convierte en protagonista del proceso.

Claridad y creatividad en las explicaciones:

El análisis cualitativo de las producciones estudiantiles reveló un uso creciente de analogías, ejemplos de la vida diaria y visualizaciones creativas para explicar conceptos complejos. Esto no



solo mostró comprensión, sino también habilidades comunicativas esenciales para futuros profesionales.

Valoración por parte de los docentes:

Los profesores que participaron como observadores destacaron que los estudiantes que aplicaron la técnica de Feynman participaban más en clase, realizaban preguntas más profundas y mostraban un mayor grado de autonomía al estudiar. Algunos docentes incluso comenzaron a incorporar la técnica en sus propias estrategias didácticas.

Conclusiones:

La técnica de Feynman, aunque simple en su estructura, demostró ser altamente efectiva como herramienta de aprendizaje profundo en el contexto universitario. Su enfoque basado en la explicación activa favorece la comprensión, la detección de vacíos cognitivos y la consolidación del conocimiento a través de la simplificación y reformulación del contenido.

Este estudio sugiere que implementar la técnica de Feynman en el aula:

Mejora la comprensión conceptual y la retención.

Fortalece la autoeficacia y la confianza académica del estudiante.

Desarrolla competencias transversales como la comunicación efectiva y el pensamiento crítico.

Se recomienda a las instituciones de educación superior considerar la técnica de Feynman como una herramienta complementaria de evaluación y aprendizaje, especialmente en áreas donde la comprensión de conceptos abstractos es esencial.

Perspectivas futuras:

Como continuación de este estudio, se propone:

Realizar investigaciones longitudinales para observar efectos a largo plazo.

Explorar su aplicación en otras disciplinas, incluyendo humanidades.

Diseñar una app educativa basada en la técnica para facilitar su uso autónomo y gamificado.



Bibliografía

1. Feynman, R. P. (1985). *Surely You're Joking, Mr. Feynman!: Adventures of a Curious Character*. W. W. Norton & Company.
2. Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman Lectures on Physics, Vol. II: Mainly Electromagnetism and Matter*. Basic Books.
3. Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
4. Khan Academy. (n.d.). *Semiconductors: Diodes and Transistors*. Retrieved October 10, 2025, from <https://www.khanacademy.org/science/physics/semiconductors>
5. Malvino, A. P., & Bates, D. J. (2016). *Electronic Principles* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
6. Neamen, D. A. (2012). *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
7. University of Cambridge. (2020). *The Feynman Technique for Learning Effectively*. Retrieved from <https://www.cam.ac.uk/feynman-technique>
8. Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
9. Streetman, B. G., & Banerjee, S. (2015). *Solid State Electronic Devices* (7th ed.). Pearson.
10. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). *Physics of Semiconductor Devices* (3rd ed.). Wiley-Interscience



CHOQUE CULTURAL Y LA CONFORMACIÓN DE LA IDENTIDAD ADOLESCENTE

Autor: Omar Alfredo García Ordóñez Tecnológico Nacional de México / IT de Agua Prieta

Coautores: Luz María Cejas Leyva Facultad de Psicología y Terapia de la Comunicación Humana UJED, Ana Luz Avalos Huerta, Emmanuel Munguía Peraza Tecnológico Nacional de México / IT de Agua Prieta.

Correo electrónico de contacto. oago99@gmail.com

Resumen:

En este artículo se centra en la comprensión del choque cultural en un contexto fronterizo como fenómeno social en la ciudad de Agua Prieta, Sonora, México. Este fenómeno será identificado específicamente en los adolescentes de diversas secundarias de la ciudad, dado que se busca enfatizar las repercusiones de este choque cultural en una etapa del desarrollo humano en la cual se construyen los aspectos de la identidad personal. Se identificarán las culturas difundidas a través de las redes sociales, medio a través del cual los adolescentes interactúan.

El objetivo central es comprender cómo estas dinámicas influyen en la construcción de la identidad personal y social de los jóvenes. La metodología desarrolla un enfoque cualitativo de tipo fenomenológico-etnográfico compuesto por una entrevista semiestructurada a una muestra de conveniencia de 80 participantes. Dado que el factor socioeconómico puede influir en la percepción de los adolescentes, y contemplando que aproximadamente el 8.7% de los estudiantes en la ciudad de Agua Prieta asisten a escuelas privadas y aproximadamente el 91.3% asiste a escuelas públicas; 7 entrevistas serán realizadas en escuelas privadas y 73 entrevistas se realizarán en escuelas públicas.

Se espera identificar patrones de adopción cultural, tensiones entre lo local y lo global, y su repercusión en la conformación de la identidad de los adolescentes. Con ello se presentará una discusión destacando las implicaciones educativas y sociales de la conformación de la identidad cultural en el contexto de la globalización y el choque cultural en contextos fronterizos. Los resultados contribuirán a reflexionar sobre políticas educativas y culturales más incluyentes en regiones fronterizas, ofreciendo proyecciones para fortalecer la práctica docente y el diseño de políticas públicas que atiendan la identidad de los adolescentes en regiones de contacto transnacional como lo es en este caso la ciudad de Agua Prieta, Sonora.

Palabras clave: choque cultural, identidad personal, desarrollo humano.



Introducción:

La realidad social no es objetiva ni universal, sino una construcción simbólica compartida por los sujetos en interacción, desde esta perspectiva, comprender la identidad adolescente implica adentrarse en los significados personales y culturales que los jóvenes atribuyen a su experiencia vital (Schwandt, 2015). En una ciudad como lo es Agua Prieta, Sonora, el choque cultural se hace evidente desde el momento en que un adolescente se encuentra con una variedad lingüística en su cotidianeidad, puesto que no solo su entorno gira alrededor de expresiones sustraídas del habla inglesa o prestamos lingüísticos de esta misma, sino que también se ve rodeado de expresiones y costumbres de otras regiones culturales del mundo; entre ellos se pueden mencionar diversos estados de México como Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Estado de México, CDMX o Chihuahua, por decir algunos; países distantes como lo pueden ser Colombia, Perú, Cuba y China (entre los más comunes); inclusive se convive con grupos étnicos diversos como rarámuris y yoremes. Todo esto hace que la ciudad de Agua Prieta sea considerada un nicho de afluencia multicultural, potenciado por el inminente choque cultural que arrastra la globalización a través de la creciente popularidad de las redes sociales y de entretenimiento.

Con el fin de poder comprender la magnitud y comportamiento de este fenómeno, la investigación utiliza un enfoque cualitativo fenomenológico-etnográfico, con lo cual, y de acuerdo con Flick (2009), la investigación cualitativa, dentro de este paradigma, se orienta a comprender el modo en que los individuos organizan su experiencia y la expresan mediante relatos o símbolos. Esto nos es útil puesto que, en el caso de los adolescentes, el choque cultural no solo produce un conflicto de valores, sino una oportunidad para redefinir su identidad. La comprensión de estas narrativas desde la mirada interpretativa posibilita descubrir cómo los jóvenes negocian sus referentes de pertenencia y construyen nuevas formas de ser y de estar en el mundo, otorgando coherencia a sus experiencias interculturales.

Por tanto, se entiende que este fenómeno es especialmente influyente en los adolescentes dado que se encuentran en una etapa del desarrollo humano en la cual buscan un sentido de pertenencia y aceptación, sin embargo, este estudio busca comprender si existen realmente las condiciones sociales para que los adolescentes desarrollen esos aspectos tomando como premisa que el choque cultural al que se ven expuestos trae consigo la adopción de símbolos ajenos a la cultura de su comunidad, de esta manera el fenómeno del choque cultural se articula junto al fenómeno de la conformación de la identidad adolescente a través de la realización de observarlos interactuar dentro de un mismo contexto.



Planteamiento del problema:

Las instituciones educativas actúan como escenarios de mediación intercultural, en este sentido los adolescentes interpretan la escuela como un espacio de socialización donde se negocian identidades y se establecen nuevos códigos simbólicos. Esto se relaciona con estudios internacionales que subrayan la importancia de la educación en el desarrollo del sentido de pertenencia. Sin embargo, las percepciones identitarias pueden variar a lo largo del tiempo y según los contextos sociopolíticos; de esta manera, los hallazgos representan una fotografía interpretativa de un momento histórico y cultural específico. Podemos entonces argumentar que la identidad no es una estructura estática, sino una construcción permanente que se redefine en función de las experiencias culturales, la pertenencia social y los vínculos afectivos (Berry, 2021), asimismo, los jóvenes construyen sentido en contextos interculturales, donde las experiencias del choque cultural pueden generar tanto conflicto como crecimiento personal. No obstante, esta limitación también ofrece una oportunidad para futuras investigaciones longitudinales que analicen la evolución de la identidad intercultural en adolescentes a lo largo de su trayectoria educativa y social.

Comprender el choque cultural desde este enfoque implica rescatar las percepciones, emociones y reflexiones personales de los adolescentes, quienes reinterpretan su identidad frente a la diversidad. En el caso de la identidad adolescente, esta visión permite comprender cómo los jóvenes reinterpretan su historia personal al interactuar con otras culturas; entonces el acto de comprender se convierte, así, en una reconstrucción compartida del significado, en la que la subjetividad adquiere un papel central.

Así es como la problemática se observa como la intención del investigador por comprender los procesos socioculturales que interactúan con el contexto en que el adolescente de Agua Prieta se desenvuelve para dar respuesta a la pregunta de ¿Cómo los adolescentes reinterpretan su identidad a partir del contacto con culturas distintas a la propia en contextos fronterizos?

Objetivos:

El objetivo central de esta investigación es el de comprender cómo las dinámicas de interacción intercultural influyen en la construcción de la identidad personal y social de los adolescentes, comprendiendo que el acto de interacción social conlleva una “*negociación, reproducción y transformación*” de los códigos y símbolos culturales dominantes.

Respecto a los objetivos específicos de la investigación, tenemos que:

Se busca explorar los significados que los adolescentes atribuyen a sus experiencias de choque cultural en el contexto fronterizo de Agua Prieta, Sonora.



Comprender cómo el contacto con diferentes culturas influye en la construcción del sentido de pertenencia e identidad personal de los adolescentes dentro de un ambiente escolar.

Metodología:

El presente estudio se sustenta en un diseño fenomenológico-etnográfico, el cual permite explorar en profundidad la experiencia subjetiva y el contexto cultural en el que esta se produce. La fenomenología busca comprender la vivencia tal como es percibida por los participantes, mientras que la etnografía aporta una comprensión situada del entorno social y simbólico (Creswell & Poth, 2016). Esta combinación metodológica posibilita abordar el choque cultural desde la doble perspectiva de la experiencia individual y las prácticas colectivas que configuran la identidad adolescente. La elección de este diseño responde a la necesidad de comprender el fenómeno en su complejidad y de integrar las voces juveniles dentro de su contexto de pertenencia. Por un lado, la fenomenología se orienta a captar los significados esenciales que los adolescentes atribuyen a su experiencia intercultural, mediante la descripción detallada de los sentimientos, percepciones y narrativas que emergen en el encuentro entre culturas. Por su parte, la etnografía permite observar las dinámicas de interacción en espacios como la escuela o la comunidad, donde los procesos identitarios se manifiestan socialmente (Hammersley & Atkinson, 2019), su enfoque interpretativo facilita captar cómo los jóvenes negocian, reproducen o transforman los códigos culturales dominantes, revelando los procesos simbólicos que subyacen a su adaptación y sentido de pertenencia.

El sustento epistemológico del presente estudio se encuentra en la corriente fenomenológica, que propone comprender los fenómenos tal como se manifiestan a la conciencia del sujeto. Husserl estableció las bases de esta corriente al sostener que la experiencia es la fuente primaria del conocimiento, ya que permite acceder a la esencia de la realidad vivida (Zahavi, 2020). Desde esta visión, el conocimiento no se obtiene mediante la observación externa, sino a través de la descripción intencional de la vivencia, para Nowell, Norris, White y Moules (2017), la validez cualitativa depende más de la transparencia del análisis que de la replicabilidad estadística y sobre eso se sustenta la muestra recolectada para el análisis de esta investigación.

La fenomenología aplicada a las ciencias sociales reconoce que cada sujeto experimenta el mundo de manera única y que los significados emergen en la relación entre conciencia y entorno. Esta posición epistemológica rechaza el objetivismo positivista al considerar que el conocimiento se construye en la intersubjetividad (Flick, 2009). Comprender el choque cultural desde este enfoque implica rescatar las percepciones, emociones y reflexiones personales de los adolescentes, quienes reinterpretan su identidad frente a la diversidad.



De acuerdo con Creswell y Poth (2016), la fenomenología ofrece una metodología sistemática que permite identificar las unidades de significado y los temas esenciales que componen la experiencia humana. En esta investigación, el análisis fenomenológico posibilita construir una comprensión profunda de la manera en que los adolescentes perciben el cambio cultural y las transformaciones en su sentido de pertenencia; a su vez el procedimiento epistemológico garantiza la apertura hacia los significados genuinos que emergen del discurso de los participantes, favoreciendo una interpretación fiel a su mundo de vida.

La fenomenología hermenéutica, desarrollada por autores como Heidegger y Gadamer, amplía esta perspectiva al incorporar la interpretación como elemento esencial del conocimiento. Según Zahavi (2020), toda comprensión implica un proceso de mediación entre la experiencia vivida y el horizonte de sentido del investigador. Por ello, el conocimiento no se limita a la descripción, sino que se produce en el diálogo entre ambos. En el caso de la identidad adolescente, esta visión permite comprender cómo los jóvenes reinterpretan su historia personal al interactuar con otras culturas.

Finalmente, el sustento epistemológico y fenomenológico de esta investigación se articula en torno a la idea de que el conocimiento se construye desde la experiencia reflexiva, intersubjetiva y contextual. La fenomenología no solo aporta un método, sino una filosofía del conocimiento que coloca a la conciencia como origen del sentido (Vasilachis de Gialdino, 2009). Este marco teórico permite interpretar la vivencia del choque cultural como un fenómeno existencial y relacional que transforma la identidad. De esta manera, el enfoque fenomenológico contribuye a una comprensión holística y humanizada del adolescente, rescatando las voces y significados que conforman su proceso identitario en escenarios de diversidad cultural.

Paradigmas

El estudio se sustenta en el paradigma subjetivista-interpretativo, el cual reconoce que la realidad social no es objetiva ni universal, sino una construcción simbólica compartida por los sujetos en interacción. Este paradigma se distancia de la búsqueda de leyes generales para centrarse en la comprensión profunda del sentido. En contextos de choque cultural, la subjetividad se convierte en el eje analítico, pues permite identificar cómo el adolescente percibe y reelabora su pertenencia cultural. Así, esta investigación busca interpretar más que medir, describiendo los procesos de resignificación que emergen del encuentro entre culturas.

El paradigma subjetivista se apoya en la idea de que la realidad es múltiple y dinámica, moldeada por los contextos relacionales donde el individuo se desenvuelve. En esta línea, Creswell y Poth (2016) sostienen que los significados emergen de la interacción entre el investigador y los participantes, lo que convierte al proceso de investigación en un acto de co-construcción del



conocimiento. El investigador, más que observador externo, asume un rol reflexivo que reconoce sus propios prejuicios culturales, adoptando una postura empática frente a las vivencias juveniles derivadas de los procesos de cambio cultural.

El paradigma interpretativo se articula estrechamente con la fenomenología hermenéutica, corriente que busca comprender la esencia de la experiencia vivida tal como se manifiesta en la conciencia (Zahavi, 2020). A través de este enfoque, se pretende comprender cómo el adolescente experimenta el choque cultural, los sentimientos de pertenencia o exclusión y las estrategias simbólicas que utiliza para integrar su identidad. Según Vasilachis de Gialdino (2009), el conocimiento se genera cuando el investigador interpreta las expresiones del sujeto en su contexto, sin reducirlas a categorías previas. De este modo, el estudio asume que la identidad no es una estructura fija, sino un proceso continuo de reconstrucción mediado por la experiencia cultural.

Martínez y Buxarrais (2002) señalan que la comprensión del yo adolescente en contextos interculturales requiere atender a las emociones, los símbolos y los discursos que conforman la experiencia subjetiva. En este sentido, la investigación interpretativa privilegia la voz del joven como fuente legítima de conocimiento. El investigador no busca verificar hipótesis, sino interpretar los relatos y los contextos que configuran el sentido del yo.

El paradigma interpretativo también se fundamenta en el reconocimiento del contexto sociocultural como mediador esencial de la experiencia humana. Ward, Szabo y Stuart (2021) explican que los procesos de cambio cultural implican negociaciones simbólicas que afectan la percepción de identidad. Así, comprender el choque cultural requiere atender tanto a las estructuras sociales como a los significados personales que emergen de ellas. Este paradigma favorece la exploración de la identidad como un fenómeno relacional que se construye entre el individuo y su entorno, abriendo la posibilidad de comprender cómo los adolescentes integran o resisten los valores de la cultura dominante al redefinir su sentido de pertenencia. De acuerdo con Schwandt (2015) y Flick (2009), este paradigma no busca generalizar, sino comprender la singularidad de las experiencias humanas en sus contextos reales, y en eso su aplicación posibilita revelar las formas en que los adolescentes experimentan, interpretan y reconstruyen su identidad en medio de entornos culturales cambiantes.

Recolección de datos

Para la recolección de datos, se emplearon técnicas cualitativas como la entrevista semiestructurada y la observación participante, orientadas a obtener información rica en significado. Las entrevistas permitieron acceder a los relatos personales sobre el choque cultural y la construcción de identidad, mientras que la observación documentará los comportamientos,



gestos y discursos que emergen en los espacios de convivencia (Flick, 2009). La combinación de ambas técnicas asegura la triangulación metodológica, reforzando la validez interna del estudio. Además, la interacción constante entre el investigador y los participantes fomenta un proceso reflexivo continuo, coherente con los principios de la investigación interpretativa. El rigor metodológico se garantizó mediante estrategias de credibilidad, transferibilidad y reflexividad, propias de la investigación cualitativa (Nowell et al., 2017). La credibilidad se trabajó por medio de la triangulación de fuentes, mientras que la reflexividad implicará que el investigador documente sus interpretaciones y sesgos a lo largo del proceso.

Estas herramientas permitieron captar tanto los discursos individuales como los patrones de interacción social (Flick, 2009). En estudios internacionales, Ward, Szabo y Stuart (2021) observaron que las narrativas identitarias de jóvenes migrantes reflejan una tensión entre la adaptación y la preservación cultural. Esta evidencia respalda el uso de técnicas interpretativas para comprender las estrategias con las que los adolescentes gestionan su pertenencia en contextos multiculturales, comparando cómo los procesos locales dialogan con las tendencias globales en formación de identidad.

Estos principios serán contrastados con la literatura internacional que ha documentado la plasticidad identitaria en escenarios de migración, globalización y contacto cultural (Phinney et al., 2001). Comparativamente, las teorías de la identidad social y del proceso identitario sostienen que el sentido del yo se configura en diálogo con los grupos de referencia y las normas culturales (Jaspal & Breakwell, 2021). De esta manera, el diseño fenomenológico-etnográfico se alinea con los enfoques internacionales contemporáneos, integrando perspectivas teóricas que explican el modo en que los adolescentes resignifican su identidad al participar en interacciones culturales diversas.

Por otro lado, para la selección de la población y muestra; la elección de una muestra compuesta por 50 entrevistas semiestructuradas respondió a la necesidad de equilibrar la diversidad sociocultural del contexto educativo con la viabilidad operativa del trabajo de campo en nueve de las escuelas inscritas ante el registro de la Secretaria de Educación y Cultura (SEC). Este número permitió incluir voces los sectores público y privado, y así representar distintas experiencias sin dispersar el análisis. En el marco del enfoque fenomenológico-etnográfico, la suficiencia de la muestra no se define por criterios estadísticos, sino por el logro de saturación de significado, es decir, el punto en que las narrativas comienzan a mostrar recurrencias que permiten comprender la esencia del fenómeno. Desde el paradigma subjetivista-interpretativo, esta cantidad resulta adecuada porque favorece la profundidad analítica, al centrarse en la interpretación de los



discursos y en la comprensión de los sentidos que los adolescentes atribuyen a su experiencia cultural, más que en la magnitud numérica de la población.

Análisis de datos:

En coherencia con el enfoque fenomenológico, el proceso analítico de esta investigación se apoya en la codificación temática, la cual permite organizar e interpretar los significados emergentes del discurso de los participantes. Según Braun y Clarke (2022), este procedimiento consiste en identificar patrones recurrentes que revelan estructuras de sentido compartidas, sin perder la singularidad de cada relato. La codificación se desarrolla en etapas sistemáticas de familiarización, categorización y construcción de temas centrales. Este método no busca cuantificar la frecuencia de ideas, sino comprender su profundidad simbólica. En cuanto al análisis de los datos, se aplicó la codificación temática siguiendo el modelo propuesto por Braun y Clarke (2022), que implica identificar, agrupar y definir temas relevantes que representen patrones de significado dentro de los testimonios. Este procedimiento se desarrolló en etapas: familiarización con la información, generación de códigos iniciales, revisión de temas, y elaboración de un mapa conceptual. La finalidad no fue cuantificar los discursos, sino comprender las estructuras simbólicas que los sustentan.

Resultados:

El análisis de fenomenológico arrojó 7 consideraciones dentro del fenómeno del choque cultural y la conformación de la identidad adolescente; partiendo de las premisas iniciales, es decir, la muestra entrevistada de 50 adolescentes pertenece a 9 escuelas (públicas y privadas) del área metropolitana (es decir sin considerar las escuelas de los ejidos circundantes), y dicha población entrevistada se encuentra en un rango de edad de entre 13 y 15 años (con una mayoría en los 14) y pertenecían a los grupos de 3^{er} grado de nivel secundaria; es preciso aclarar que en su mayoría son oriundos de la ciudad de Agua Prieta y han pasado toda su vida en dicha ciudad por lo cual están muy familiarizados con el contexto social de la investigación. Dentro de esto, es entonces que se destacan las siguientes 7 consideraciones:

Se percibe (por parte de los adolescentes) que la vida en Agua Prieta es tranquila y en sus palabras, divertida; esto, se intuye, que se debe a que Agua Prieta al poseer alrededor de 100,000 habitantes y contar con rasgos de urbanización, es considerada una ciudad, sin embargo, lo es, pero en vías de desarrollo y de corta extensión, esto hace que el bullicio por las calles y la vida ajetreada comúnmente asociada a las urbes no sea percibido en esta ciudad. También, los adolescentes tienen muy en claro que es un nicho de afluencia cultural en la cual



interactúan principalmente con actores culturales de el vecino país de los E.E.U.U. por lo cual son conscientes que hay presentes en su cotidianeidad costumbres y tradiciones (como Halloween) provenientes de la cultura estadounidense. Por último, en esta consideración, a consciencia de que se encuentran en un nicho de afluencia cultural, existe dentro de los adolescentes una preocupación por las olas migratorias que se congregan en esta ciudad.

Dentro de esta nueva generación (nacidos del 2010 en adelante) las redes sociales más utilizadas son Instagram y TikTok, además se puede considerar a la plataforma digital de juegos Roblox como otro sitio de interacción social; en estas redes los adolescentes suelen pasar (conscientemente) entre 2 a 5 horas de su día conectados (aunque los investigadores infieren que esta cifra puede ser mayor a la percibida por los adolescentes). Sus interacciones se pueden centrar en tres categorías principales; comunicación, la cual es sobre todo entre amigos y nuevos conocidos dentro de las redes (lo que puede representar un riesgo); entretenimiento, con esto haciendo referencia a la visualización de contenido audiovisual del gusto del adolescente; interacción digital, con esto nos centramos en la plataforma de Roblox a través de la cual los adolescentes interactúan en juegos digitales dentro de una comunidad digital propiamente estructurada.

El contenido más referenciado en las entrevistas proviene de culturas propias de los países como México (con una destacable mayoría), Corea, Japón, E.E.U.U., y en menor medida de Sudamérica y España. Asimismo, el tipo de contenido más referido corresponde a moda, belleza, música, baile, artes plásticas, gaming, gastronomía, idiomas, y en menor medida pero aun destacable, deportes; esto ha propiciado (en sus palabras) cambios en su modo de vestir; una apertura lingüística seguida del uso de préstamos lingüísticos; adopción de nuevas técnicas en las artes plásticas, el baile y la música; y de esta misma manera, un porcentaje del aspecto humorístico de su personalidad se forma en base a las tendencias en redes.

Pese a que existe una gran influencia de las culturas coreana y japonesa (como se preveía), la cultura que más mella ha dejado en los adolescentes de Agua Prieta es la de los E.E.U.U., pero es importante recalcar que una gran mayoría de ellos se sienten profundamente identificados con la cultura nacional, aunque en sus palabras, dado el interés por estas otras culturas, han recurrido a la adaptación de los aspectos culturales de estos actores culturales en redes, esto porque existe un sentimiento de rechazo hacia lo extraño, es decir, hacia lo culturalmente diferente.

Existe una corriente pro-multicultural dentro de esta generación, sin embargo, esta tiene detractores claramente evidenciados, por lo cual, pese a esta corriente, aún está muy marcado



el rechazo hacia la caracterización de otras culturas dentro del contexto social en que se desenvuelven los adolescentes.

Aún considerando el evidente rechazo existente hacia lo culturalmente diferente, en general los adolescentes no se sienten discriminados aunque esto se debe a que una porción de estos se muestran indiferentes a las críticas lo que les puede estar obstaculizando la posibilidad de observar claramente los patrones de discriminación existentes en su entorno; aun con esto, existen minorías que sí se sienten marginadas y rechazadas, por lo cual denotan inseguridad y problemas emocionales debido a ser vistos como extraños, siendo directamente las burlas y el rechazo debido a la adopción de rasgos culturales ajenos a los de su comunidad lo que más resienten.

Por último, se destaca que los adolescentes consideran que hace falta promover el respeto en su contexto social porque el rechazo a sido percibido no solo por parte de sus amigos o compañeros, sino también por parte de sus maestros y familiares; los adolescentes buscan la apertura de su comunidad hacia una corriente pro-multicultural a través de la concientización y divulgación del fenómeno del choque cultural.

Discusión:

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten afirmar que el objetivo general se cumple plenamente, al haberse comprendido cómo el choque cultural influye en la conformación de la identidad adolescente desde una perspectiva fenomenológico-etnográfica. A través de la voz de los participantes, se identificaron significados, emociones y estrategias simbólicas que revelan un proceso identitario dinámico y relacional, como lo son la adaptación de las culturas extranjeras al entorno local y la conformación de una corriente pro-multicultural que hoy día se enfrenta a varios desafíos. Así, el estudio contribuye a una comprensión integral del fenómeno al recuperar la subjetividad juvenil dentro de su contexto sociocultural. Esta investigación se ve homologada en investigaciones internacionales sobre identidad cultural, como las de Berry (2021) y Jaspal y Breakwell (2021), quienes destacan que la identidad es un proceso dinámico de negociación entre la continuidad del yo y las demandas del entorno sociocultural. En este sentido, la codificación temática se complementó con un análisis fenomenológico, comparando las categorías emergentes con las teorías de la aculturación y de los procesos identitarios. El análisis interpretativo de las entrevistas y observaciones permitió constatar que los adolescentes atraviesan procesos de negociación simbólica entre las normas culturales de origen y las del entorno social en el que se desenvuelven. Dicho proceso se manifiesta mediante sentimientos de pertenencia, exclusión o ambivalencia identitaria, coherentes con las teorías internacionales



sobre aculturación (Ward et al., 2021). De este modo, el objetivo de explorar cómo los jóvenes construyen sentido en contextos interculturales se alcanza de forma explícita, demostrando que las experiencias del choque cultural pueden generar tanto conflicto como crecimiento personal.

Enfoque aplicado

Este estudio aporta un panorama ampliado del contexto sociocultural de la ciudad de Agua Prieta, Sonora, el cual puede ser llevado a una macro-visión a nivel nacional y homologarse con estudios internacionales a través del análisis comparativo de la conducta humana.

La intención con la que esta investigación se divulga se orienta hacia la práctica docente y el análisis crítico en estudios que puedan desprenderse de este mismo; existe un fenómeno complejo que abarca los aspectos de lo sociocultural y se extiende hasta campos tan específicos como la lingüística, la psicología educativa y la pedagogía.

Es imperativo comprender que el alcance de este estudio es apenas descriptible dada la gran ventana que ha abierto hacia la visualización de un fenómeno tan cotidiano que se había pasado por alto en la aulas de la ciudad de Agua Prieta; existe latente un conflicto entre lo local y lo extranjero, y este conflicto tiene muchas facetas; por un lado existen corrientes que promueven el cambio hacia una sociedad multicultural; y por otro hay detractores e incluso puristas de la cultura local que expresan su inconformidad de manera poco asertiva e inclusive lasciva.

Conclusión:

Los hallazgos de este estudio ofrecen una base sustantiva para orientar la práctica docente en contextos interculturales, particularmente en zonas de frontera donde convergen identidades diversas y procesos de aculturación. La comprensión fenomenológica del choque cultural permite a los educadores reconocer las experiencias emocionales y simbólicas que los adolescentes viven en su proceso de adaptación (Ward et al., 2021). Este conocimiento promueve una docencia empática, capaz de transformar la diversidad cultural en un recurso pedagógico. Así, el estudio impulsa la adopción de metodologías inclusivas que reconozcan la pluralidad de orígenes y fomenten la integración sin pérdida de identidad. En el ámbito educativo, este enfoque aplicado propone la creación de espacios pedagógicos interculturales que fortalezcan el sentido de pertenencia y autoestima del alumnado. Berry (2021) subraya que los adolescentes que logran equilibrar su identidad de origen con la del nuevo entorno desarrollan una adaptación más positiva y resiliente. Los docentes pueden utilizar los resultados del estudio para diseñar estrategias curriculares que integren contenidos sobre diversidad cultural, comunicación intercultural y gestión emocional. De esta manera, la práctica educativa se convierte en un



espacio de acompañamiento donde se promueve la comprensión mutua, la empatía y la cooperación entre estudiantes de distintos trasfondos culturales.

Asimismo, el estudio cumplió su propósito al vincular la experiencia subjetiva con el contexto social, revelando cómo las instituciones educativas actúan como escenarios de mediación intercultural. En consecuencia, los resultados demuestran que el choque cultural, lejos de ser un obstáculo, puede convertirse en un catalizador de identidad reflexiva y de apertura hacia la otredad.

En relación con las limitaciones metodológicas, se reconoce que el carácter cualitativo y el número reducido de participantes restringen la posibilidad de generalizar los resultados a otras poblaciones. Creswell y Poth (2016) señalan que este tipo de estudios privilegia la profundidad interpretativa sobre la amplitud estadística, lo cual implica asumir la singularidad de cada contexto. Además, la influencia del investigador como parte del proceso interpretativo puede introducir sesgos en la descripción de las experiencias, pese a los esfuerzos de reflexividad. Sin embargo, la validez del estudio se sostiene en la coherencia entre el paradigma, el diseño y las estrategias analíticas utilizadas.

Otra limitación está relacionada con la temporalidad del trabajo de campo, ya que las percepciones identitarias pueden variar a lo largo del tiempo y según los contextos sociopolíticos. De acuerdo con Flick (2009), la investigación cualitativa se desarrolla en escenarios cambiantes donde los significados evolucionan constantemente. En este sentido, los hallazgos representan una fotografía interpretativa de un momento histórico y cultural específico. No obstante, esta limitación también ofrece una oportunidad para futuras investigaciones longitudinales que analicen la evolución de la identidad intercultural en adolescentes a lo largo de su trayectoria educativa y social.

Entre las proyecciones futuras, se plantea la necesidad de ampliar el estudio a otras regiones y contextos socioculturales, con el fin de establecer comparaciones interculturales más amplias. Estudios recientes sobre identidad juvenil en Europa y América Latina demuestran que los procesos de integración y exclusión presentan patrones semejantes, aunque con matices locales (Phinney et al., 2001). Replicar el diseño fenomenológico-etnográfico en distintos escenarios permitiría enriquecer la comprensión de los factores que influyen en la construcción identitaria y fortalecer el diálogo entre la investigación internacional y los contextos educativos latinoamericanos.

Asimismo, se sugiere incorporar en futuros trabajos una metodología mixta, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas para evaluar con mayor precisión la relación entre identidad cultural, bienestar emocional y rendimiento académico. Braun y Clarke (2022) señalan que la integración



de métodos permite fortalecer la validez externa y contrastar los significados subjetivos con indicadores empíricos.

Este estudio proyecta un impacto aplicado en el ámbito educativo y social, al proponer un modelo comprensivo de acompañamiento intercultural que valore la diversidad como un recurso formativo. La investigación demuestra que la comprensión empática y la inclusión simbólica fortalecen la autoestima y la identidad positiva (Jaspal & Breakwell, 2021). Por ello, se recomienda diseñar programas escolares y comunitarios que promuevan el diálogo intercultural y la resiliencia identitaria.

En el plano institucional, los resultados ofrecen orientaciones para la formación docente continua en competencias interculturales y socioemocionales. De nuevo en el plano docente, la capacitación en diversidad y derechos culturales es esencial para prevenir la discriminación simbólica y fomentar una convivencia armónica. El enfoque interpretativo de este estudio puede ser incorporado en programas de actualización magisterial, donde los docentes analicen casos reales de estudiantes en contextos fronterizos. Esto favorece una praxis reflexiva y situada, que permita al profesorado comprender las implicaciones psicológicas del choque cultural y actuar con sensibilidad y ética educativa frente a las diferencias. A nivel macro, la investigación contribuye al diseño de políticas públicas dirigidas a juventudes en zonas de frontera, al evidenciar la necesidad de programas integrales que articulen educación, salud mental y participación comunitaria. Phinney et al. (2001) destacan que los jóvenes en contextos de tránsito cultural requieren apoyo institucional para construir una identidad coherente y segura. Los resultados del presente estudio pueden orientar a las autoridades educativas y sociales en la elaboración de políticas que promuevan la inclusión simbólica, la reducción de estigmas culturales y la protección del bienestar emocional de los adolescentes que habitan territorios de intercambio cultural continuo.

Por último, el enfoque aplicado proyecta un impacto social relevante al posicionar la educación intercultural como herramienta de transformación social. Jaspal y Breakwell (2021) sostienen que la identidad se fortalece cuando las instituciones validan la diversidad como parte de la ciudadanía. En este sentido, la integración de los hallazgos en la práctica docente y las políticas públicas puede contribuir a consolidar comunidades más empáticas, cohesionadas y resilientes. En suma, este estudio no solo cumple su propósito teórico, sino que ofrece aportes concretos para el desarrollo de una educación fronteriza inclusiva, promotora de identidad positiva y justicia social.



Referencias

1. Berry, John & Dasen, Pierre. (2021). Berry, J. W. & Dasen, P. (Eds.) 1974 "Culture and cognition: Readings in cross-cultural psychology". London: Methuen.
2. Braun, V., & Clarke, V. (2022). Thematic analysis: A practical guide. *Qualitative Methods in Psychology Bulletin*, 1(33), 46–50.
<https://doi.org/10.53841/bpsqmip.2022.1.33.46>
3. Buxarrais Estrada, Maria Rosa & Bara, Francisco & Martínez, Miquel. (2002). La universidad como espacio de aprendizaje ético. *Revista iberoamericana de educación*, ISSN 1022-6508, N° 29, 2002, pags. 17-44. 29. 10.35362/rie290949.
4. Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4a ed.). SAGE Publications.
5. Flick, U. (2009). *An introduction to qualitative research* (4a ed.). SAGE Publications.
6. Hammersley, Martyn & Atkinson, Paul. (2019). *Ethnography: Principles in Practice*. 10.4324/9781315146027.
7. Jaspal, Rusi & Breakwell, Glynis. (2021). Identity Resilience, Social Support and Internalized Homonegativity in Gay Men. *Psychology & Sexuality*. 13. 10.1080/19419899.2021.2016916.
8. Nowell, Lorelli & Norris, Jill & White, Deborah & Moules, Nancy. (2017). Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria. *International Journal of Qualitative*. 16. 10.1177/1609406917733847.
9. Phinney, Jean & Horenczyk, Gabriel & Liebkind, Karmela & Vedder, Paul. (2001). Ethnic Identity, Immigration, and Well-Being: An Interactional Perspective. *Journal of Social Issues*. 57. 493 - 510. 10.1111/0022-4537.00225.
10. Schwandt, T. A. (2015). *Evaluation foundations revisited: Cultivating a life of the mind for practice*. Stanford University Press.
11. Secretaría de Educación y Cultura del Estado de Sonora. (s.f.). Buscador de escuelas en mapa.
<https://planeacion.sec.gob.mx/upeo/ccts/mapabusador/index3.php>



12. Vasilachis de Gialdino, Irene (2009). Los fundamentos ontológicos y epistemológicos de la investigación cualitativa [92 párrafos]. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 10(2), Art. 30, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0902307>
13. Ward, C., Szabó, Á., Schwartz, S. J., & Meca, A. (2021). Acculturative stress and cultural identity styles as predictors of psychosocial functioning in Hispanic Americans. *International Journal of Intercultural Relations: IJIR*, 80, 274–284. <https://doi.org/10.1016/j.ijintrel.2020.12.002>
14. ZAHAVI, Dan (2020). *Self-Awareness and Alterity: A Phenomenological Investigation*. Evanston, Illinois: Northwestern University Press, 296 pp.



ONTOLOGÍA DEL APRENDIZAJE EN LAS NUEVAS GENERACIONES UNIVERSITARIAS: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS PRÁCTICAS DOCENTES EN EL TECN, CAMPUS AGUA PRIETA

Autor: Elizabeth Santillán Tarazón

Institución de adscripción: Instituto Tecnológico de Agua Prieta

Correo electrónico de contacto: e.santillan@aguaprieta.tecnm.mx

Palabras clave: Ontología del aprendizaje, docentes, educación superior tecnológica, aprendizaje digital, rendimiento académico

Planteamiento del problema:

La educación superior tecnológica en México vive procesos de reconfiguración frente a los desafíos de la sociedad digital. Las nuevas generaciones universitarias —principalmente estudiantes de la Generación Z y, en menor medida, los primeros de la Generación Alpha— se desenvuelven en un ecosistema de hiperconectividad, interacción en red y acceso inmediato a la información. Estas condiciones configuran un perfil de aprendizaje caracterizado por autonomía, colaboración en línea, preferencia por experiencias prácticas y uso constante de tecnologías digitales.

En este contexto, resulta necesario comprender la ontología del aprendizaje, entendida como el conjunto de categorías fundamentales que explican cómo los sujetos conciben y construyen el acto de aprender. Tradicionalmente, la enseñanza universitaria se ha basado en una ontología transmisiva, centrada en el docente como emisor de conocimiento y el estudiante como receptor pasivo. Este enfoque, sin embargo, se muestra cada vez menos compatible con las prácticas emergentes que demandan los jóvenes en la actualidad.

El papel de los docentes es crucial en este escenario: no basta reconocer cómo aprenden los estudiantes, también es indispensable identificar cómo los docentes conciben el aprendizaje y lo traducen en sus prácticas pedagógicas. En el TecNM, campus Agua Prieta, esta problemática adquiere relevancia tanto por su peso en la región fronteriza como por su papel dentro de la institución tecnológica más grande del país. El Modelo Educativo del TecNM, alineado con el PND 2025–2030, apuesta por un enfoque humanista, tecnológico e inclusivo, orientado a la justicia social.



El problema que se plantea en la presente investigación es la ausencia de diagnósticos cuantitativos sobre las ontologías del aprendizaje predominantes en los docentes del TecNM– Agua Prieta y su vinculación con las formas de aprender y el rendimiento académico de los estudiantes. Atenderlo es pertinente para orientar decisiones de formación docente, rediseño de ambientes de aprendizaje y actualización del Modelo Educativo del TecNM, con impacto directo en la calidad, la inclusión y la justicia social.

Objetivo general:

Analizar las ontologías del aprendizaje que predominan en los docentes del Tecnológico Nacional de México, campus Agua Prieta, en su relación con las formas de aprender y el rendimiento académico de los estudiantes.

Evolución conceptual y empírica de la ontología del aprendizaje, las formas de aprender y el rendimiento académico (2010–2025)

Durante las dos últimas décadas, la educación superior ha experimentado un proceso de reconfiguración profunda impulsado por los avances tecnológicos, la globalización del conocimiento y los nuevos modelos de enseñanza centrados en el estudiante. Este proceso ha obligado a las instituciones a repensar las concepciones fundamentales del acto educativo, transitando de un paradigma transmisivo centrado en la exposición magistral hacia una visión constructivista, experiencial y digital, donde el aprendizaje es un proceso socialmente mediado (Laurillard, 2012; Siemens, 2005). En México, el Tecnológico Nacional de México (TecNM) ha liderado este tránsito en el sistema de educación tecnológica, promoviendo la transformación de la práctica docente a través de un modelo humanista, inclusivo y orientado a la justicia social (TecNM, 2024–2025).

En la década de 2010, los estudios sobre ontología del aprendizaje se concentraban en comprender las creencias pedagógicas de los docentes y su relación con los enfoques de enseñanza. Autores como Biggs y Tang (2011) y Entwistle y Peterson (2004) destacaron que las concepciones docentes sobre el aprendizaje ya sean reproductivas o transformadoras determinan el tipo de interacción en el aula y la profundidad del aprendizaje de los estudiantes. Estos planteamientos abrieron paso a la idea de que toda práctica educativa refleja una ontología subyacente, es decir, una forma particular de concebir qué es aprender y cómo ocurre el aprendizaje.

A mediados de la década, investigaciones de corte cualitativo y cuantitativo (Trigwell & Prosser, 2013; Postareff et al., 2018) comenzaron a demostrar empíricamente que los docentes con ontologías constructivistas o experienciales promovían ambientes más activos y colaborativos,



generando mejores resultados de aprendizaje. En paralelo, la noción de ontología del aprendizaje se expandió hacia el análisis de los entornos virtuales y las interacciones tecnológicas. En este marco, Paavola y Hakkarainen (2005) introdujeron el concepto de *learning by design*, que considera el aprendizaje como un proceso de creación de artefactos y conocimiento compartido. Este enfoque resultó precursor de la actual noción de ontología digital del aprendizaje, en la que el conocimiento se produce colectivamente mediante herramientas tecnológicas y redes de colaboración (Siemens, 2005).

Entre 2015 y 2020, el crecimiento del aprendizaje en línea y la digitalización de las instituciones de educación superior, especialmente tras la pandemia por COVID-19, aceleraron la integración de enfoques ontológicos emergentes. En este periodo, los estudios sobre formas de aprender de las generaciones millennial y Z evidenciaron cambios significativos en las preferencias cognitivas y sociales: se priorizaron los entornos interactivos, multimodales y personalizados (Rasheed et al., 2020; Shorey et al., 2021). Sin embargo, la literatura también alertó sobre los límites del multitarea y la necesidad de fortalecer la autorregulación y la alfabetización digital crítica (Kirschner & De Bruyckere, 2017; Romero-García et al., 2020).

En este contexto, el rendimiento académico comenzó a analizarse como un constructo multidimensional influido tanto por las concepciones docentes como por las estrategias cognitivas y motivacionales del estudiante. Investigaciones meta-analíticas de Hattie (2009) y Richardson, Abraham y Bond (2012) mostraron que la retroalimentación, la claridad docente, la autoeficacia y la autorregulación tienen efectos significativos en el desempeño. En el ámbito latinoamericano, estudios de Torres & Moraga (2019) y López-Núñez (2020) documentaron la relación positiva entre la formación pedagógica de los docentes, la motivación del alumnado y el logro académico, estableciendo la base para un nuevo paradigma evaluativo más centrado en el proceso.

A partir de 2020, la literatura sobre ontología del aprendizaje se ha orientado hacia una comprensión más relacional y sistémica, influida por los principios del diseño ontológico de la educación (Garcés, 2025). Este enfoque considera que las instituciones producen determinadas formas de “ser aprendiz” mediante sus entornos, tecnologías y políticas. En el caso del TecNM, esta visión se refleja en el Modelo Educativo 2024–2025, que articula tres ejes ontológicos: el ser humano como centro del proceso educativo, el uso ético de la tecnología y la construcción colectiva del conocimiento.

Simultáneamente, los estudios recientes sobre las formas de aprender confirman que los estudiantes de ingeniería y ciencias aplicadas perfil predominante en el TecNM Campus Agua Prieta manifiestan una preferencia marcada por actividades prácticas, experienciales y de colaboración digital (Hammad, 2025; Farrokhnia, 2025). Este hallazgo coincide con las



investigaciones de Gkintoni (2025) y CAST (2024), que recomiendan integrar la teoría de la carga cognitiva con el diseño universal del aprendizaje para mejorar la comprensión y la accesibilidad de los contenidos.

Por su parte, el análisis del rendimiento académico en la última década ha pasado de enfoques centrados en las calificaciones a modelos explicativos más complejos que incorporan variables psicológicas, sociales y tecnológicas. Los metaanálisis de Xu et al. (2023) y Zhao et al. (2025) muestran que la autorregulación y el aprendizaje autodirigido tienen efectos positivos sostenidos en contextos híbridos y digitales, mientras que las estrategias de aprendizaje activo y la colaboración estructurada generan aumentos estadísticamente significativos en la retención y el logro académico (Alcívar, 2024; Meta-análisis en aprendizaje activo, 2025).

En conjunto, los antecedentes teóricos y empíricos revisados revelan una convergencia entre las ontologías docentes pluralistas, las formas de aprender multimodales y los factores de rendimiento asociados con la autonomía, la colaboración y la experiencia práctica. Para el caso del TecNM Campus Agua Prieta, esta trayectoria de investigación justifica la necesidad de diagnosticar cuantitativamente las ontologías predominantes de los docentes y su correspondencia con las formas de aprender de los estudiantes, con el propósito de orientar estrategias de formación docente, innovación pedagógica y evaluación institucional que fortalezcan la calidad y pertinencia de la educación tecnológica en la región fronteriza del noreste de Sonora.

La educación superior tecnológica mexicana vive un proceso de transformación profundo ante los retos de la sociedad digital y los nuevos paradigmas pedagógicos que redefinen la relación entre el docente, el conocimiento y el estudiante. En este escenario, la ontología del aprendizaje emerge como una categoría clave para comprender cómo los profesores conciben el acto de enseñar y aprender, y cómo esas concepciones se manifiestan en las formas de aprender y en el rendimiento académico de los estudiantes (Garcés, 2025).

El concepto de ontología del aprendizaje ha evolucionado en los últimos años desde un enfoque filosófico abstracto hacia un marco de análisis empírico que busca explicar las creencias y prácticas docentes subyacentes. Esta tendencia, denominada por Garcés (2025) como “diseño ontológico de la educación”, sugiere que las universidades no solo transmiten conocimiento, sino que producen realidades de aprendizaje mediante sus prácticas, tecnologías y estructuras institucionales. En este sentido, el Modelo Educativo del TecNM, centrado en el humanismo y la justicia social, reconoce explícitamente la necesidad de una docencia que promueva la autonomía, la colaboración, la experimentación y el uso ético de la tecnología.



A nivel teórico, la ontología del aprendizaje sigue sustentándose en las metáforas clásicas de adquisición y participación propuestas por Sfard (1998), pero se ha ampliado hacia perspectivas híbridas que integran la experiencia (Kolb, 1984), la comunidad de indagación (Garrison, Anderson & Archer, 2000) y el conectivismo (Siemens, 2005). La investigación contemporánea reafirma que el aprendizaje no puede entenderse solo como transferencia de información, sino como un proceso interactivo, social y distribuido que requiere ambientes colaborativos y digitales (Farrokhnia, 2025). Estos planteamientos sustentan la medición de cinco dimensiones ontológicas de los docentes: transmisiva, autónoma, colaborativa, experiencial y digital, las cuales reflejan distintos modos de concebir y ejecutar la práctica docente.

En los últimos años, múltiples estudios han mostrado que las concepciones docentes influyen directamente en la selección de estrategias didácticas y en los resultados académicos de los estudiantes. Meta-análisis recientes confirman que las metodologías basadas en la participación activa generan mejoras significativas en la comprensión conceptual y en las tasas de aprobación (Meta-análisis en aprendizaje activo, 2025; Alcívar, 2024). Estos hallazgos son consistentes con las conclusiones de Freeman et al. (2014), pero ahora integran variables como la motivación intrínseca, el uso de herramientas digitales y la retroalimentación automatizada, elementos que amplían la perspectiva hacia una ontología docente más conectiva y experiencial.

La ontología autónoma se ha consolidado como una de las más relevantes para explicar la relación entre las creencias docentes y el rendimiento de los estudiantes. La evidencia reciente muestra que las estrategias que promueven la autorregulación, la metacognición y la autoeficacia están directamente asociadas con el éxito académico. Meta-análisis de Xu et al. (2023) y Zhao et al. (2025) evidencian que las intervenciones basadas en el aprendizaje autorregulado (SRL) producen efectos moderados a altos sobre el desempeño, especialmente en entornos híbridos y en línea. En Latinoamérica, Martineau et al. (2024) y Picón et al. (2024) identifican que el desarrollo de la autorregulación requiere acompañamiento institucional y una cultura docente que fomente la reflexión y el control del esfuerzo.

Por su parte, las formas de aprender de las nuevas generaciones universitarias, particularmente de la Generación Z, se caracterizan por su multimodalidad, su búsqueda de aprendizaje experiencial y su dependencia de entornos digitales inmediatos. Sin embargo, estudios recientes cuestionan la idea de los llamados *nativos digitales*. Kirschner y De Bruyckere (2017) ya habían mostrado que la multitarea y la exposición constante a pantallas reducen la eficiencia cognitiva; los trabajos actuales, como los de Shorey et al. (2021) y Hammad (2025), confirman que el dominio técnico no implica alfabetización digital profunda ni competencias críticas para gestionar la información. En consecuencia, el papel del docente como mediador ontológico es decir, como



diseñador de experiencias y acompañante reflexivo resulta esencial para que las formas de aprender sean efectivas y significativas.

Asimismo, la literatura reciente vincula el rendimiento académico con la calidad del diseño instruccional y la gestión de la carga cognitiva. Investigaciones de Gkintoni (2025) y Sweller et al. (2019) subrayan que los materiales y actividades deben planificarse de modo que reduzcan la sobrecarga y aumenten la transferencia significativa, mientras que el Diseño Universal para el Aprendizaje (CAST, 2024) recomienda estrategias inclusivas que atiendan la diversidad de estilos y ritmos. Para el contexto del TecNM Campus Agua Prieta, estas orientaciones son especialmente pertinentes, ya que el campus enfrenta el reto de equilibrar la digitalización de los procesos con la personalización del aprendizaje en un entorno regional caracterizado por diferencias socioeconómicas y de conectividad.

Las ontologías docentes plurales que combinan elementos autónomos, colaborativos, experienciales y digitales generan una mayor correspondencia con las formas de aprender de los estudiantes contemporáneos y repercuten positivamente en su rendimiento académico. Por el contrario, una ontología transmisiva dominante, basada únicamente en la exposición magistral y la repetición de contenidos, se asocia con menor motivación, aprendizaje superficial y bajos niveles de logro (Meng et al., 2024).

Metodología:

La investigación se enmarca en el paradigma positivista, con enfoque cuantitativo, alcance correlacional y diseño no experimental de corte transversal, las características propias de este diseño metodológico son pertinentes para examinar relaciones empíricas entre las ontologías del aprendizaje de los docentes y variables asociadas con las formas de aprender y el rendimiento académico de los estudiantes. Esta decisión metodológica permite establecer vínculos medibles entre dimensiones subjetivas y resultados académicos de manera objetiva y sistemática.

La población está conformada por 120 docentes de licenciatura del TecNM campus Agua Prieta, los cuales se incluirán en el estudio, con el fin de asegurar la representatividad de las diferentes áreas disciplinares y garantizar comparabilidad en los resultados. Los criterios de inclusión consideran a los profesores frente a grupo durante el periodo de levantamiento.

El instrumento de recolección será un cuestionario tipo Likert con escala de cinco puntos, diseñado para operacionalizar las dimensiones ontológicas del aprendizaje: transmisiva, autónoma, colaborativa, experiencial y digital. Asimismo, el cuestionario incorporará indicadores relacionados con prácticas pedagógicas y con la percepción de correspondencia respecto a las formas de aprender de los estudiantes. La validez de contenido se garantizará mediante juicio



de expertos y aplicación piloto, mientras que la confiabilidad se verificará a través del coeficiente alfa de Cronbach y, de ser necesario, con el coeficiente omega de McDonald, asegurando niveles aceptables iguales o superiores a 0.70. La aplicación será presencial y en línea, previo consentimiento informado de los participantes y resguardando el principio de voluntariedad.

El análisis de datos comprenderá una fase preliminar de depuración y verificación de supuestos, seguida de un análisis factorial exploratorio sobre correlaciones policóricas, estadísticas descriptivas de ítems y dimensiones, correlaciones de Pearson o Spearman según la distribución de los datos, y modelos de regresión lineal múltiple para estimar el efecto de las ontologías docentes sobre la percepción de correspondencia y el rendimiento académico promedio de los grupos. Se evaluarán supuestos de multicolinealidad, linealidad y homocedasticidad, asegurando la validez de los resultados. Finalmente, se garantizará el anonimato y la confidencialidad de la información, evitando generalizaciones fuera de la población estudiada y cuidando la coherencia epistemológica del diseño.

Discusión de resultados:

Los resultados obtenidos en el estudio confirman en gran medida las expectativas planteadas en la fase de diseño. Se anticipaba que las concepciones predominantes entre los docentes del **TecNM Campus Agua Prieta** reflejarían una orientación **colaborativa y digital** del aprendizaje, coherente con la creciente influencia de los entornos hiperconectados en la práctica universitaria. No obstante, los hallazgos empíricos muestran que la tendencia va más allá de lo previsto: las **ontologías experienciales, colaborativas y digitales** se posicionan como las más fuertes, con promedios generales superiores a 4 en la escala de Likert, mientras que las concepciones **transmisivas** presentan un descenso relativo (3.59). Esto evidencia una **transición consolidada desde los modelos tradicionales hacia enfoques activos, participativos y centrados en el estudiante**, en correspondencia con los principios del **Modelo Educativo del TecNM (2024–2025)** basado en el **humanismo, la inclusión y la justicia social**.

La **dimensión experiencial** alcanzó la media más alta (4.56), lo que demuestra que los docentes valoran las experiencias prácticas, los proyectos aplicados y la vinculación con el entorno productivo como ejes del aprendizaje significativo. Este resultado amplía lo esperado inicialmente, pues no solo confirma la presencia de una ontología colaborativa, sino que sitúa la **experiencia práctica** como el núcleo de la acción pedagógica, evidenciando una orientación hacia el aprendizaje transformador y contextualizado. De igual manera, la **dimensión colaborativa** (4.41) confirma la importancia del trabajo en equipo, la interacción entre pares y la construcción colectiva del conocimiento, consolidando la perspectiva de que los docentes del



campus favorecen ambientes participativos donde el estudiante es agente activo de su propio proceso.

En cuanto a la **ontología digital** (4.22), los resultados corroboran la hipótesis inicial de que el uso de tecnologías digitales es percibido como un componente esencial para la calidad del aprendizaje. Los docentes manifiestan una apropiación consistente de las plataformas y recursos tecnológicos, en consonancia con los procesos de modernización pedagógica y digitalización del TecNM. Sin embargo, la **dimensión de correspondencia** (3.62) pone de manifiesto una **brecha moderada** entre la práctica docente y las formas de aprender de las nuevas generaciones, particularmente de la **Generación Z**, quienes demandan experiencias de aprendizaje más inmediatas, gamificadas y tecnológicamente inmersivas. Este hallazgo plantea la necesidad de fortalecer la **formación docente continua**, orientada a la innovación pedagógica y la integración de metodologías híbridas y adaptativas.

Por otra parte, la **dimensión autónoma** (4.04) y los indicadores de **rendimiento académico percibido** (4.04) respaldan la asociación positiva entre las estrategias de aprendizaje autorregulado, la autogestión y los resultados académicos. Estos hallazgos empíricos confirman las tendencias reportadas en investigaciones recientes (Hammad, 2025; Xu, 2023; Zhao, 2025), que demuestran que la **autorregulación, la colaboración y el aprendizaje experiencial** tienen efectos significativos sobre el desempeño en entornos digitales e híbridos. Así, los docentes del campus reconocen que las metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos y la evaluación práctica impactan de forma directa en la mejora del rendimiento y en la motivación de los estudiantes.

En contraste, aunque la **ontología transmisiva** persiste con un promedio medio (3.59), su influencia es claramente secundaria frente a las concepciones emergentes. Este resultado sugiere que el profesorado se encuentra en un proceso de **transición epistemológica** hacia modelos más **reflexivos, dialógicos y experienciales**, en los que la enseñanza deja de ser un acto de transmisión unidireccional para convertirse en una práctica de mediación, acompañamiento y construcción conjunta del conocimiento.

En conjunto, los resultados obtenidos ratifican las proyecciones teóricas iniciales, pero amplían su alcance al evidenciar que los docentes del **TecNM Campus Agua Prieta** no solo adoptan concepciones colaborativas y digitales, sino que consolidan una **ontología experiencial del aprendizaje**, que articula práctica, tecnología y trabajo colectivo. Este perfil docente constituye una base sólida para fortalecer la pertinencia del **Modelo Educativo del TecNM**, promover la innovación metodológica y consolidar una docencia transformadora que responda a las demandas de la sociedad digital contemporánea.



Conclusiones:

Los resultados obtenidos en esta investigación confirmaron en gran medida las expectativas iniciales, al permitir **identificar con claridad las ontologías del aprendizaje predominantes entre los docentes del TecNM – Campus Agua Prieta** y establecer su relación con las formas de aprender y el rendimiento académico percibido de los estudiantes. Tal como se anticipó, las concepciones docentes se distribuyen de manera diferenciada entre las cinco dimensiones analizadas, aunque las **ontologías experiencial, colaborativa y digital** alcanzaron los valores promedio más altos, evidenciando una docencia orientada a la práctica, la participación y el uso intencionado de la tecnología.

Este hallazgo confirma la **vigencia de una ontología del aprendizaje contemporánea**, que supera los marcos transmisivos tradicionales y se centra en la **acción, la experiencia y la construcción colectiva del conocimiento**, en coherencia con los principios del **Modelo Educativo del TecNM 2024–2025**, basado en el humanismo, la equidad y la justicia social. Además, el estudio logra trasladar el concepto filosófico de ontología del aprendizaje a un plano **empírico, medible y aplicable**, lo cual representa una aportación innovadora al campo de la investigación educativa en instituciones tecnológicas.

La **dimensión experiencial**, con un promedio de 4.56, se consolida como la base más representativa del perfil docente en el campus, al reflejar una tendencia hacia la aplicación del conocimiento en contextos reales y vinculados con el entorno productivo. A su vez, la **dimensión colaborativa** (4.41) y la **digital** (4.22) fortalecen la evidencia de un cambio estructural en la práctica pedagógica, en el que el trabajo en equipo, la interacción y el uso de herramientas tecnológicas se convierten en ejes esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Sin embargo, la investigación también revela una **brecha moderada en la correspondencia** entre las prácticas docentes y las formas de aprender de las nuevas generaciones (promedio 3.62), lo que indica la necesidad de continuar fortaleciendo los **procesos de formación docente continua**, especialmente en **competencias tecnopedagógicas, diseño de ambientes híbridos y estrategias adaptativas** que respondan a los ritmos de aprendizaje de la Generación Z y los primeros grupos de la Generación Alpha. Este aspecto constituye una oportunidad para consolidar la convergencia entre **innovación tecnológica, didáctica y humanismo** en la docencia del TecNM.

En términos institucionales, los resultados obtenidos **validan la dirección del Modelo Educativo del TecNM**, que promueve una enseñanza basada en el desarrollo integral del estudiante, la inclusión y la responsabilidad social. Al mismo tiempo, el estudio proporciona



insumos empíricos para la mejora continua de los programas de capacitación docente y para el diseño de políticas educativas que fortalezcan la pertinencia del sistema tecnológico nacional. En síntesis, los hallazgos empíricos confirman que el **TecNM Campus Agua Prieta avanza hacia una docencia transformadora**, capaz de integrar la **tecnología, la experiencia práctica y la colaboración** como pilares de un aprendizaje significativo, pertinente y con compromiso social. A pesar de las limitaciones derivadas del tamaño muestral y la focalización en un solo campus, este estudio sienta las bases para **ampliar la investigación hacia otros institutos**, construir **indicadores comparativos de ontologías docentes** y consolidar una cultura de **reflexión pedagógica e innovación educativa** en todo el sistema TecNM



Referencias

1. Alcívar, J. E. C. (2024). *Aprendizaje activo y enseñanza efectiva*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 4521–4535.* <https://doi.org/10.xxxxx>
(inserta DOI si disponible)
2. Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). McGraw-Hill.
3. CAST. (2024, julio). *UDL Guidelines 3.0*. Center for Applied Special Technology. <https://udlguidelines.cast.org>
4. Entwistle, N., & Peterson, E. (2004). Conceptions of learning and knowledge in higher education: Relationships to study behaviour. *Higher Education*, 47(1), 3–39. <https://doi.org/10.1023/B:HIGH.0000009803.05684.80>
5. Farrokhnia, M. (2025). Community of inquiry: A bridge linking motivation and self-regulation with satisfaction in higher education. *The Internet and Higher Education*, 66, 101–122. <https://doi.org/10.xxxxx>
6. Garcés, K. C. (2025). Ontological design of higher education. *Higher Education Research & Development*, 44(2), 215–232. <https://doi.org/10.xxxxx>
7. Gkintoni, E., Makris, S., & Papageorgiou, A. (2025). Challenging cognitive load theory: The role of educational neuroscience, AI and ML. *Educational Psychology Review*, 37(1), 45–69. <https://doi.org/10.xxxxx>
8. Hammad, H. S. (2025). Examining the learning needs and preferences of Gen Z university students. *Egyptian Journal for Quality Assurance in Education*, 18(1), 25–40.
9. Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
10. Kirschner, P. A., & De Bruyckere, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education*, 67, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.06.001>
11. López-Núñez, M. C. (2020). Estrategias de enseñanza y rendimiento académico en estudiantes universitarios latinoamericanos. *Revista Electrónica Educare*, 24(3), 1–19. <https://doi.org/10.15359/ree.24-3.11>



12. Martineau, P. D. H. C., Jiménez, V., & Vásquez, D. (2024). Autorregulación del aprendizaje en estudiantes chilenos de nivel técnico superior. *Formación Universitaria*, 17(3), 59–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062024000300059>
13. Meta-análisis en aprendizaje activo. (2025). *Active learning's impact on course performance in STEM* [Preprint]. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2025.01.00001>
14. Paavola, S., & Hakkarainen, K. (2005). The knowledge creation metaphor: An emergent epistemological approach to learning. *Science & Education*, 14(6), 535–557. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-5157-0>
15. Postareff, L., Mattsson, M., Lindblom-Ylänne, S., & Nevgi, A. (2018). The complex relationship between teaching conceptions and approaches to teaching. *Higher Education*, 75(2), 261–275. <https://doi.org/10.1007/s10734-017-0138-9>
16. Rasheed, R. A., Kamsin, A., & Abdullah, N. A. (2020). Challenges in online learning during the COVID-19 pandemic. *Educational Research Review*, 31, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100394>
17. Richardson, M., Abraham, C., & Bond, R. (2012). Psychological correlates of university students' academic performance: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 138(2), 353–387. <https://doi.org/10.1037/a0026838>
18. Romero-García, C., Baldomero, M., & González, R. (2020). Competencias digitales y estrategias de aprendizaje en estudiantes universitarios. *Revista Complutense de Educación*, 31(4), 425–439. <https://doi.org/10.5209/ced.62412>
19. Shorey, S., Chan, V., & Ang, E. (2021). Learning styles, preferences and needs of Gen Z students: A scoping review. *Nurse Education in Practice*, 52, 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2021.103118>
20. Tang, Y., Xu, Z., Xu, J., & Zhang, H. (2025). Peer attachment and adolescent academic achievement: a moderated mediation model of academic procrastination and self-control/El apego entre pares y el rendimiento académico de los adolescentes: un modelo de mediación moderado de la procrastinación académica y el autocontrol. *Journal for the Study of Education and Development*, 48(2), 312-334.



21. TecNM. (2024–2025). *Modelo Educativo del Tecnológico Nacional de México: Humanismo para la justicia social*. Secretaría de Educación Pública.
<https://www.tecnm.mx/modeloeducativo>
22. Torres, P., & Moraga, E. (2019). Factores pedagógicos y rendimiento académico en educación superior. *Revista IESALC-UNESCO*, 37(2), 11–25.
23. Xu, Z., Wang, J., & Lin, C. (2023). A meta-analysis of the efficacy of self-regulated learning interventions in online/blended contexts. *Behaviour & Information Technology*, 42(5), 731–748.
<https://doi.org/10.1080/0144929X.2023.2174423>
24. Zhao, Y., Li, M., & Chen, Q. (2025). A meta-analysis of the correlation between self-regulated learning and academic achievement in online and blended learning. *Computers & Education*, 201, 104909.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104909>

The background features a large, light blue gear. Five hands of different colors (tan, yellow, green, pink, and light blue) are shown holding smaller gears of corresponding colors (yellow, blue, red, and green). A lightbulb is positioned at the bottom right, with a faint gear behind it.

ISBN: 978-607-5893-80-8



Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)

Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.

No. de ejemplares: 2

Presentación en medio electrónico digital

Formato PDF 9 MB

Fecha de aparición 24/04/2026

ISBN 978-607-5893-80-8