

Compartiendo conocimientos

FEGLININ

Año 9, N°35, diciembre 2025

VOL 5
REVISTA OFICIAL
DE LA



Tópicos:

Tecnología; Innovación; Calidad;
Productividad; Desarrollo Económico.



CONTENIDO

ALINEACIÓN ESTRATÉGICA Y OPERATIVA EN UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN	4
APLICACIÓN INTEGRAL PARA ANÁLISIS Y PREDICCIÓN CLIMÁTICA CON DATOS DE LA NASA	11
DETECCIÓN DE ANSIEDAD A TRAVÉS DE UN MODELO DE PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL	16
EL PAGO DE IMPUESTO DEL COMERCIO INFORMAL Y SU IMPACTO EN EL GASTO PÚBLICO DE ZITÁCUARO	22
EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ADMISIÓN CON RESPECTO A UN MARCO DE REFERENCIA DE ACREDITACIÓN	31
KNOWLINK: UNA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA APRENDER SIN LÍMITES	37
PREDICCIÓN DE FATIGA MUSCULAR MEDIANTE SEÑALES EMG SINTÉTICAS Y REDES NEURONALES LSTM	45

Código DOI asignado a este volumen: <https://doi.org/10.70417/YKHNP21915EY>

Comisión Editorial F.G.D.P.

Directora Editorial:

Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández
Federación Global de Profesiones AC
administracion@federacionglobal.com

Secretario Técnico:

Dr. Lorenzo Sánchez Vásquez
Abbott Laboratories de México
lorenzo.sanchezI@abbott.com

Consejeros Técnicos:

Dra. Minerva Cristina García Vargas
Tecnológico Nacional de México Campus Zitácuaro
minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

Dr. Ramsés Flores Gama
Universidad Loyola del Pacifico
ramses.flores@loyola.edu.mx

Editor Responsable:

Mtro. Juan Pablo Díaz Moreno
Federación Global de Profesiones AC
congreso@federacionglobal.com

FEGLININ, año 9, No. 35, vol. 5, octubre - diciembre 2025, es una publicación trimestral editada por la Federación Global de Profesiones AC, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, TEL (722) 32-92-228, <https://www.federacionglobal.com>, administracion@federacionglobal.com, editor responsable: Juan Pablo Díaz Moreno. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo No -en trámite-, ISSN: 2594-2298, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, secretaria general de la Federación Global de Profesiones AC, Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, fecha de la última modificación, 14 de diciembre de 2025.

Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido publicado en esta revista, mismo que es propiedad y queda registrado a nombre de los autores; su reproducción no autorizada constituye una infracción y un delito de conformidad con las leyes aplicables

EDITORIAL

Las cosas no han estado sencillas ni hoy ni nunca en realidad, se ha hecho imperativo poner nuestro máximo esfuerzo en todas y cada una de las cosas que hacemos y para ello se requiere estar atentos a nuestro entorno y reconocer nuestra realidad en todos sus aspectos.

Ahora más que nunca, cuando estamos a unos pocos días de iniciar el 2026, nos damos cuenta de que se requiere trabajar mucho más arduamente en fortalecer los lazos institucionales que se ha tendido la Federación Global de Profesiones desde aquel 2017 cuando inicio operaciones esta asociación civil. Estas diferentes relaciones que se han formalizado a través de diversos convenios firmados bilateralmente y en algunos casos con varias instituciones más al mismo tiempo, le han ido dando forma a la Federación Global de Profesiones, pero sobre todo le han permitido cumplir con su misión al compartir por los medios establecidos material suficiente y amplio para establecer proyectos de gran impacto.

Estamos cerrando el 2025 y nos congratula recordar que durante este año se ha creado el que parece ser uno de los proyectos más significativos, no solo en la Federación Global de Profesiones, sino que, nos atrevemos a decir, también a nivel nacional, se trata de lanzamiento del estándar “FGDP-GCT01:2005”.

Dicho estándar garantiza para aquellas organizaciones privadas, gubernamentales, e incluso no gubernamentales, del sector educativo o del sector productivo, ya sea primario, secundario, o incluso terciario, que se decidan a CERTIFICARSE, una operatividad más eficaz y certera.

Estamos enfocados en generalizar la implementación a nivel nacional e incluso internacionalmente de dicho estándar para beneficio de la comunidad global.

Como siempre, gracias a todos por la confianza en esta su revista, pero sobre todo en lo que hacemos en la Federación Global de Profesiones

Atte:

Juan Pablo Díaz Moreno

Presidente de la FGDP

ALINEACIÓN ESTRATÉGICA Y OPERATIVA EN UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN

STRATEGIC AND OPERATIONAL ALIGNMENT IN A RESEARCH CENTER

Dra. M.C. García-Vargas¹

Dr. J.M. Romero García²

Ing. M.Y. García Valderas³

MODOC A. García-Arreola⁴

RESUMEN

La efectividad de los centros de investigación depende de su capacidad para traducir estrategia en operación con disciplina, aprendizaje y enfoque en el valor. Este artículo integra resultados empíricos y marco teórico de Lean Service, Hoshin Kanri y gobernanza de indicadores para evaluar y mejorar la alineación entre planeación estratégica (PE) y planeación operativa (PO) en un centro de investigación. Con base en un diseño mixto (entrevistas, grupo focal, análisis documental y encuestas pre/post), se documentaron mejoras significativas en comprensión estratégica, claridad de KPI y protocolos de revisión (t pareada=12.856; $p<0.0001$). Se demuestra que un taller de intervención (Matriz X institucional, tablero PE-PO, plantillas A3, calendario y boletín mensual) cierra brechas de comunicación y reduce asimetrías informativas, sin burocratizar. Se discuten implicaciones para la gestión de portafolios de I+D según TRL y para la vinculación con actores externos. Se concluye con recomendaciones aplicables a centros de investigación afines.

ABSTRACT

The effectiveness of biorefinery research centers depends on their ability to translate strategy into daily operations with discipline, learning, and a focus on value. This article integrates empirical results and a theoretical framework of Lean Service, Hoshin Kanri, and indicator governance to assess and improve the alignment between strategic planning (SP) and operational planning (OP) in a biorefinery research center. Based on a mixed design (interviews, focus group, document analysis, and pre/post surveys), significant improvements in strategic understanding, KPI clarity, and review rituals were documented (paired $t = 12.856$; $p < 0.0001$). It is shown that a "light" intervention package (institutional X-Matrix, SP-OP board, A3 templates, calendar, and monthly newsletter) closes communication gaps and reduces information asymmetries, without bureaucratizing. Implications for R&D portfolio management according to TRL and for engagement with external stakeholders are discussed. It concludes with recommendations applicable to related research centers.

Palabras clave: planeación estratégica, planeación operativa, Hoshin Kanri, biorrefinería, comunicación, indicadores, gobernanza.

Key words: Strategic planning, operational planning, Hoshin Kanri, biorefinery, communication, indicators, governance.

INTRODUCCIÓN

Este estudio parte de la hipótesis de que existe una brecha significativa entre la estrategia institucional y su aplicación operativa en centros públicos. Según Hrebiniak (2005) y Kaplan

¹ Docente de la Academia de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

² Jefe de Laboratorio del Instituto Universitario de Investigación en Biorrefinerías jrgarcia@ujaen.es

³ Docente de la Academia de Ciencias Básicas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, miriam.gv@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Docente de la Academia de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, alan.ga@zitacuaro.tecnm.mx

& Norton (1996), algunas organizaciones, incluidas instituciones de investigación, experimentan una brecha entre la formulación estratégica y la ejecución operativa. Esta desalineación se manifiesta en prioridades poco claras, indicadores fragmentados, comunicación irregular y revisiones de portafolio realizadas de forma improvisada. Como resultado, se pierde enfoque, se generan retrasos evitables y se debilita la capacidad de vinculación y transferencia de conocimiento hacia la sociedad y la industria. En sectores como la biorrefinería, donde el valor público depende de convertir hallazgos científicos en prototipos, escalamiento y adopción tecnológica, esta brecha limita el impacto institucional y dificulta la coordinación entre líneas de investigación.

Ante este problema, el estudio parte de preguntas clave para acotar y entender el fenómeno: ¿hasta qué punto el personal investigador comprende la estrategia institucional y la conecta con su trabajo cotidiano?, ¿qué tan efectivos son los mecanismos de despliegue y comunicación para alinear objetivos, indicadores y decisiones?, ¿en qué medida los proyectos y sus KPI están explícitamente vinculados a la estrategia mediante herramientas visuales de gestión?, y ¿qué rituales de revisión permiten tomar decisiones coherentes para continuar, redirigir o cerrar iniciativas?

El objetivo general de la investigación es diseñar y evaluar un sistema de trabajo que traduzca la estrategia institucional en una operación disciplinada, utilizando herramientas de Lean Service como la Matriz X o Hoshin Kanri (que conecta visión, objetivos anuales, metas, KPIs, responsables e iniciativas con relaciones causa-efecto); tableros Planeación Estratégica (PE) versus Planeación Operativa (PO) con indicadores de pronóstico (son los que predicen el resultado deseado y se pueden influenciar directamente) e históricos (miden el resultado final ya alcanzado), plantillas A3 (pensamiento estructurado para proyectos: contexto, objetivo, causa raíz, contramedidas, plan y seguimiento visual y ciclos de revisión basados en decisiones por excepción). Los beneficios son: alineación, priorización, aprendizaje, KPIs, revisión, ejecución más rápida y menos desperdicio. (ver figura 1).

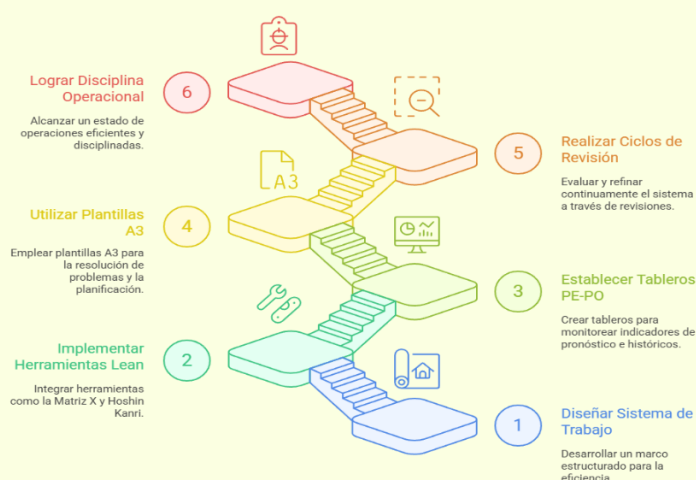


Figura 1 Disciplina Institucional

Los objetivos específicos son: (a) medir la línea base de alineación entre planeación estratégica y operativa (PE-PO) y la claridad de los KPI; (b) implementar un paquete de intervención a nivel institucional y documentar su adopción; (c) estimar cambios en la comprensión de la estrategia, la comunicación y la gobernanza de los indicadores; y (d)

analizar los mecanismos causales que explican los resultados, considerando la cultura de aprendizaje.

El alcance del estudio comprende un centro de investigación en biorrefinería, involucra equipo directivo y personal investigador, y cubre un ciclo de ocho semanas de implementación y seguimiento inicial, apoyado en análisis documental, entrevistas, grupo focal y encuestas pre/post. Las limitaciones encontradas fueron el tamaño muestral acotado, y el corto tiempo; por tanto, las inferencias se circunscriben al contexto analizado y se plantean evaluaciones trimestrales posteriores para estimar sostenibilidad.

Esta metodología permite discutir principios generales de ejecución en ciencia aplicada. Bajo ese contexto, la transición hacia una bioeconomía descarbonizada exige que los centros de biorrefinería articulen la generación de conocimiento con su conversión en impacto socio-productivo. Ello demanda una gobernanza que alinee visión, portafolio y decisiones operativas, de modo que la estrategia deje de ser un documento y se convierta en un sistema de trabajo.

En este marco, Hoshin Kanri traduce la estrategia en objetivos anuales, metas cuantificadas, medios y responsables mediante despliegue y catchball, mientras que una gobernanza deliberada de indicadores evita la sobrecarga métrica y sostiene el aprendizaje organizacional. En consecuencia, la contribución de este artículo es doble: por un lado, documenta empíricamente una mejora significativa en la alineación PE-PO tras implementar un taller basado en gestión visual, cadencias y decisiones por excepción; por otro, propone un diseño replicable para centros afines que busquen orquestar su portafolio por niveles de madurez tecnológica y fortalecer la vinculación con actores externos sin recurrir a arquitecturas de control pesadas.

Las secciones siguientes presentan el marco teórico, la metodología, los resultados con énfasis en los mecanismos que explican el cambio y, finalmente, conclusiones y recomendaciones orientadas a decisiones directivas y a la sostenibilidad del sistema. La alineación estratégica y operativa en organizaciones de investigación implica integrar una dirección de largo plazo, expresada en misión, visión y objetivos a largo plazo, con un sistema de ejecución cotidiana que orquesta decisiones, flujos de información, rutinas y métricas.

La literatura de dirección estratégica ha subrayado que “tener” estrategia no equivale a “hacerla funcionar”; la brecha de ejecución surge a menudo por la ausencia de mecanismos que traduzcan prioridades en comportamientos observables y resultados medibles (Kaplan & Norton, 1996; Hrebiniak, 2005). Desde esta perspectiva, la alineación es un proceso dinámico que ajusta, ciclo a ciclo, lo que la institución pretende con lo que efectivamente logran sus equipos, bajo restricciones cambiantes de incertidumbre tecnológica, financiamiento y coordinación interinstitucional.

La perspectiva de Lean Service ofrece una alternativa para comprender por qué, en servicios intensivos en investigación, la variabilidad, sobre todo en lo tocante a información o decisiones, deteriora la efectividad; adelgazar el sistema no es mecanizarlo, es remover

fricción innecesaria para liberar atención hacia el trabajo de mayor impacto (Bowen & Youngdahl, 1998; Seddon, 2015). Esta distinción es crítica en entornos científicos, la variabilidad controlada está asociada a exploración y prueba, debe preservarse, mientras que la incontrolada está vinculada a objetivos contradictorios, indicadores redundantes o rituales inconstantes, debe reducirse.

La estandarización de Lean Service funciona como base porque fija reglas mínimas de interacción y visualización de la información para que la comunicación crítica ocurra a tiempo y con datos suficientes, sin convertir la investigación en una cadena de montaje. En ese sentido, Hoshin Kanri se ha consolidado como un dispositivo de traducción estratégica que vincula la visión institucional con metas anuales, medios y responsables por medio de herramientas como la Matriz X y la práctica del catchball (Akao, 2004). En términos de gobernanza, Hoshin aporta dos virtudes: explicita los supuestos causales que conectan objetivos con iniciativas mediante una cartografía visual que alinea áreas y niveles, e instituye una cadencia de diálogo bidireccional que legitima el ajuste fino sobre la marcha, evitando que el centro de investigación quede atrapado en decisiones pasadas que ya no se ajustan a nuevas condiciones, pero que no se cambian por costumbre, inercia o falta de mecanismos para revisar los planes concebidos y no reexaminados en cada inicio del ciclo. De este modo, el despliegue estratégico deja de ser un proceso descendente y unilateral, para transformarse en un diálogo intencionado entre los niveles de la institución, donde los equipos revisan y ajustan objetivos y recursos en función de la nueva información que va surgiendo.

La gobernanza de indicadores enfrenta un riesgo identificado a partir del enfoque del Balanced Scorecard. Cuando se acumulan demasiadas métricas o se pierde la conexión entre los indicadores de pronóstico, (que anticipan el desempeño) y los cumplidos (que reflejan resultados ya alcanzados), se dispersa el enfoque directivo y se debilita la rendición de cuentas (Kaplan & Norton, 1992, 1996). En los centros de investigación y desarrollo, es fundamental seleccionar un número limitado de KPI realmente relevantes, con definiciones claras y compartidas, para evitar la trampa de medir por medir y promover un uso reflexivo de los indicadores enfocado en el aprendizaje y la toma de decisiones. Los indicadores valen en la medida en que se conectan con decisiones de portafolio, asignación de recursos y acompañamiento técnico a los equipos. La incorporación del nivel de madurez tecnológica (TRL) añade granularidad a la gobernanza del portafolio, porque sitúa cada proyecto en una trayectoria de desarrollo con expectativas y riesgos específicos. Estudios recientes y manuales técnicos (APRE, 2022) señalan que incorporar explícitamente el TRL en la gestión de proyectos permite organizar de manera más clara el diseño experimental y la relación con actores externos. Esto se logra gracias a la posibilidad de establecer puntos de decisión o “gates” más definidos, que ayudan a evaluar el avance de cada proyecto y decidir su continuidad, ajuste o cierre. En centros de biorrefinería, donde el impacto depende de convertir conocimiento en prototipos, escalado y transferencia, el TRL funciona como puente entre lógicas académicas de publicación y lógicas tecnológicas de adopción por la industria. Desde la ciencia abierta, la OCDE subraya que transparencia, interoperabilidad y compartición de datos fortalecen la efectividad y legitimidad de la investigación pública, de

manera que sistemas de medición y revisión periódica, cuando son livianos y confiables, amplifican el aprendizaje interno y la contribución externa (OECD, 2015). Finalmente, ninguna arquitectura de procesos e indicadores prospera sin condiciones culturales propicias. La evidencia sobre seguridad psicológica indica que los equipos capaces de admitir errores, expresar dudas y pedir ayuda oportuna aprenden más rápido y evitan la petrificación de hipótesis débiles (Edmondson, 1999). En consecuencia, la alineación PE–PO depende tanto del diseño técnico de matrices, tableros y rituales como de su uso dentro de una ecología relacional que tolere la crítica informada y premie la mejora genuina por encima del ritualismo.

METODOLOGÍA

Se empleó una investigación-acción con enfoque mixto en un centro de investigación en biorrefinería, involucrando al equipo directivo y al personal investigador. Las fuentes de información incluyeron análisis documental, entrevistas semiestructuradas, un grupo focal y una encuesta tipo Likert de 20 ítems (escala 1–5) aplicada en dos momentos: una línea base con once respuestas y una medición posterior con nueve. La intervención combinó el co-diseño de una Matriz X (o Hoshin Kanri) institucional, la puesta en marcha de un tablero PE–PO con indicadores de pronóstico e históricos, la adopción de plantillas A3 para el seguimiento de iniciativas, un calendario de reuniones mensuales de desempeño y un boletín interno de avance.

El análisis integró una codificación temática para los datos cualitativos y una prueba t pareada para comparar los resultados antes y después de la intervención con un nivel de confianza del 95%. Se aplicaron criterios de validez como la triangulación de fuentes, la verificación con participantes (*member checking*) y el registro documentado de decisiones metodológicas, además de medidas para mitigar sesgos de deseabilidad social, como encuestas anónimas y facilitación imparcial en los espacios grupales.

RESULTADOS

El rediseño del sistema comenzó con la clarificación de la identidad estratégica mediante la revisión de misión, visión y valores, y con la definición de un conjunto acotado de objetivos estratégicos formulados bajo criterios SMART y acompañados de metas anuales verificables. A partir de esta base se desplegó Hoshin Kanri mediante una Matriz X que relacionó objetivos, metas, iniciativas, responsables y KPI, generando un hilo conductor visible para todos los niveles de la organización. El tablero PE–PO se configuró con un número deliberadamente limitado de indicadores, distinguiendo aquellos de carácter de pronóstico (como la proporción de proyectos con cliente o aliado definido, el TRL promedio del portafolio y el porcentaje de decisiones documentadas) de los indicadores históricos, entre los que se incluyeron productos científicos y tecnológicos, así como contratos y prototipos. Estas herramientas se acompañaron con protocolos de comunicación y aprendizaje: reuniones mensuales de desempeño orientadas a decisiones por excepción, un boletín interno con avances y lecciones aprendidas, y un mecanismo de revisión trimestral del portafolio con énfasis en madurez tecnológica, demanda y alianzas, lo que permitió establecer criterios de priorización transparentes.

Los hallazgos empíricos respaldan la tesis de que la estandarización, cuando está bien diseñada, incrementa la efectividad de servicios intensivos en investigación. En lugar de imponer rigidez, los artefactos introducidos, Matriz X, tablero y A3, redujeron el desperdicio informacional y la variabilidad operativa no valiosa, al tiempo que preservaron la exploración científica y la autonomía técnica del personal investigador. La función de Hoshin Kanri como dispositivo de traducción entre niveles fue particularmente notoria, la claridad de objetivos y la trazabilidad entre metas, iniciativas y responsables disminuyeron ambigüedades y facilitaron conversaciones basadas en datos. La gestión de indicadores, basada en un conjunto reducido y cuidadosamente seleccionado de métricas clave, evitó la sobrecarga de medición y facilitó una toma de decisiones oportuna y enfocada. La incorporación de TRL a la revisión de portafolio permitió, además, visualizar bloqueos de madurez, ordenar expectativas con socios externos y alinear trayectorias de desarrollo con la demanda tecnológica, lo cual reforzó la eficacia de la vinculación. Finalmente, la regularidad de las revisiones y la claridad de los criterios de seguimiento habilitaron conductas de aprendizaje, admisión de incertidumbre, solicitud de ayuda oportuna que permitió que los equipos identificaran de forma clara las decisiones que implicaban priorizar ciertos objetivos, favoreciendo un análisis más realista y compartido de las alternativas disponibles.

CONCLUSIONES

En conjunto, los resultados demuestran que la alineación entre la planeación estratégica y la operativa mejora cuando la estrategia se convierte en un sistema de trabajo con artefactos claros y cadencias regulares. La combinación de Matriz X, tablero PE-PO con un conjunto reducido de KPI críticos, plantillas A3 y reuniones mensuales orientadas a decisiones por excepción se tradujo en mayor comprensión de la dirección institucional, mejor calidad de la comunicación y previsibilidad en los mecanismos de revisión. La integración del enfoque por TRL fortaleció la priorización del portafolio y facilitó la vinculación con agentes externos, mientras que la cultura de seguridad psicológica operó como mecanismo habilitador del aprendizaje y la mejora continua. Los hallazgos respaldan la recomendación de comenzar con líneas de trabajo piloto, asegurar logros visibles en etapas tempranas y avanzar de manera progresiva, manteniendo una estructura de control ligera que evite generar burocracia innecesaria.

A partir de la experiencia documentada, se recomienda formalizar la Matriz X a nivel institucional y hacerla accesible a los equipos; operar un tablero PE-PO con un número acotado de indicadores líderes y rezagados, revisado mensualmente bajo una lógica de decisiones por excepción; estandarizar la reunión de desempeño con agenda y tiempos definidos, incorporando el uso sistemático de A3 para seguimiento; y gestionar el portafolio mediante criterios explícitos de TRL, demanda tecnológica y alianzas estratégicas. En paralelo, conviene fortalecer las capacidades de liderazgo de línea para la gestión visual, la comunicación de resultados y el uso responsable de indicadores, de forma que el sistema de medición acompañe a la estrategia sin convertirse en un fin en sí mismo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico de Zitácuaro y al [Instituto Universitario de Investigación en Biorrefinerías](#) por el apoyo para la consecución de esta investigación. Se reconoce la participación del equipo directivo y del personal investigador en las distintas fases del proyecto —entrevistas, grupo focal y encuestas—, así como su compromiso con la construcción de un sistema de trabajo que vincule la estrategia con la ejecución diaria y que promueva la mejora continua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akao, Y. (2004). *Hoshin Kanri: Policy Deployment for Successful TQM*. Productivity Press. [Routledge+1](#)
- Bowen, D. E., & Youngdahl, W. E. (1998). “Lean” service: In defense of a production-line approach. *International Journal of Service Industry Management*, 9(3), 207–225. <https://doi.org/10.1108/09564239810223510> [Arizona State University](#)
- Covey, S., McChesney, C., & Huling, J. (2012). *Las 4 disciplinas de la ejecución: Alcanzando metas estratégicas con excelencia*. Grupo Nelson.
- Edmondson, A. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 350–383. <https://doi.org/10.2307/2666999> [SAGE Journals](#)
- Hrebiniak, L. G. (2005). *Making Strategy Work: Leading Effective Execution and Change*. Wharton School Publishing. (See sample chapter). [Pearson](#)
- Hrebiniak, L. G. (2005). *Making Strategy Work: Leading Effective Execution and Change*. Wharton School Publishing.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71–79. [Harvard Business Review](#)
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business School Press. [Harvard Business School+1](#)
- OECD. (2015). *Making Open Science a Reality* (STI Policy Papers No. 25). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jrs2f963zs1-en> [OECD](#)
- Seddon, J. (2015). *Rethinking Lean Service*. Vanguard. (Working paper). [Vanguard Consulting Ltd](#)
- APRE. (2022). *Guiding notes to use the TRL self-assessment tool*. Horizon Europe NCP Portal.

APLICACIÓN INTEGRAL PARA ANÁLISIS Y PREDICCIÓN CLIMÁTICA CON DATOS DE LA NASA

INTEGRAL APPLICATION FOR CLIMATE ANALYSIS AND PREDICTION WITH NASA DATA



Emmanuel Castro Morquecho¹

Jonathan Hernández Salinas²

Gerardo De Jesús Sánchez Estrada³

Eduardo López Sandoval⁴

RESUMEN

El proyecto WIROP responde a la incertidumbre climática que afecta a sectores clave como la agricultura y la logística. Se desarrolló una plataforma web y móvil cuya metodología se basa en una API asíncrona que consume y procesa 20 años de datos históricos de los proyectos POWER y MERRA-2 de la NASA. El sistema realiza un análisis probabilístico para calcular el riesgo de eventos extremos (heladas, olas de calor) y utiliza un modelo de lenguaje avanzado (LLM) para generar recomendaciones cualitativas. Los resultados demuestran una API robusta que entrega perfiles de riesgo climático accionables, con un margen de error relativo promedio del 5% en validaciones iniciales de temperatura. Se concluye que WIROP cierra la brecha entre los datos climatológicos complejos y la necesidad práctica del usuario, fomentando una planificación más resiliente.

ABSTRACT

The WIROP project responds to climate uncertainty affecting key sectors like agriculture and logistics. A web and mobile platform was developed. The methodology is based on an asynchronous API that consumes and processes 20 years of historical data from the NASA POWER and MERRA-2 projects. The system performs a probabilistic analysis to calculate the risk of extreme events (frost, heat waves) and uses a large language model (LLM) to generate qualitative recommendations. The results demonstrate a robust API that delivers actionable climate risk profiles, with an average relative error margin of 5% in initial temperature validations. It is concluded that WIROP bridges the gap between complex climatological data and the user's practical need, fostering more resilient planning.

Palabras clave: Inteligencia climática, NASA POWER, MERRA-2, API, toma de decisiones, análisis probabilístico.

Key Words: Climate intelligence, NASA POWER, MERRA-2, API, decision-making, probabilistic analysis.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática representa uno de los mayores desafíos contemporáneos para la planificación de actividades humanas. Sectores críticos como la agricultura, la logística, la gestión de eventos al aire libre y las energías renovables dependen fundamentalmente de condiciones meteorológicas predecibles. La incertidumbre climática no solo genera importantes pérdidas económicas, sino que también representa riesgos significativos para la seguridad de personas y operaciones.

¹ Estudiante del TecNM / I.T. Zitácuaro de Ingeniería en Sistemas Computacionales, L21650345@zitacuaro.tecnm.mx

² Estudiante del TecNM / I.T. Zitácuaro de Ingeniería en Sistemas Computacionales, L21650358@zitacuaro.tecnm.mx

³ Estudiante del TecNM / I.T. Zitácuaro de Ingeniería en Sistemas Computacionales, L21650384@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Docente-investigador del TecNM / I.T. Zitácuaro, eduardo.ls@zitacuaro.tecnm.mx

Las herramientas meteorológicas convencionales, si bien útiles, presentan limitaciones importantes. La mayoría ofrece pronósticos genéricos a corto plazo (3-7 días) sin proporcionar un contexto histórico probabilístico que permita evaluar verdaderamente el riesgo. Por ejemplo, un pronóstico que indica "30% de probabilidad de lluvia" carece de la perspectiva histórica necesaria para la toma de decisiones: ¿es este porcentaje alto o bajo para esta fecha específica en esta ubicación? ¿Qué tan frecuentes han sido las heladas en este periodo durante las últimas dos décadas?

Esta investigación se justifica por la necesidad de democratizar el acceso a la inteligencia climática avanzada. Actualmente, los datos satelitales de alta fiabilidad, como los provistos por la NASA a través de sus proyectos POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) y MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2), están disponibles públicamente, pero requieren conocimientos técnicos especializados para su consulta, procesamiento e interpretación. Existe una brecha significativa entre la disponibilidad de estos datos científicos y su utilización práctica por parte de usuarios que podrían beneficiarse enormemente de ellos.

El problema de investigación que se plantea es: ¿cómo puede transformarse la información climatológica científica compleja en inteligencia accionable y accesible para la toma de decisiones de usuarios no especializados? Se hipotiza que el uso combinado de análisis probabilístico sobre series temporales extensas de datos satelitales y la traducción de estos resultados mediante inteligencia artificial generativa proporciona una herramienta de gestión de riesgos climáticos más efectiva que los pronósticos meteorológicos convencionales.

El objetivo general de este proyecto es desarrollar e implementar una plataforma integral de inteligencia climática que facilite la toma de decisiones informadas frente a la incertidumbre meteorológica. Los objetivos generales de este proyecto son:

- Implementar una arquitectura de sistema que consuma y procese datos históricos satelitales de la NASA de manera eficiente.
- Desarrollar algoritmos de análisis probabilístico para calcular riesgos de eventos climáticos extremos basados en series de tiempo de 20 años.
- Integrar tecnología de inteligencia artificial para traducir datos cuantitativos complejos en recomendaciones cualitativas comprensibles y accionables.
- Desplegar la solución en plataformas web y móvil accesibles para el usuario final.

Este proyecto se desarrolló en el contexto de un hackathon, donde las restricciones de tiempo y la necesidad de iteración rápida demandaron una metodología ágil de desarrollo, orientada a la entrega de valor funcional en ciclos cortos.

METODOLOGÍA

El enfoque metodológico de esta investigación corresponde a un desarrollo tecnológico de tipo experimental y aplicado, ejecutado mediante metodología ágil Extreme Programming (XP) adaptada al contexto de un hackathon. Esta aproximación permitió ciclos iterativos rápidos de desarrollo, integración continua y validación temprana de funcionalidades con usuarios potenciales.

Arquitectura del Sistema

El sistema WIROP se implementó utilizando una arquitectura de tres capas: 1) Capa de datos (consumo de API externa), 2) Capa de procesamiento y análisis (backend), y 3) Capa de presentación (interfaces web y móvil). Se optó por una arquitectura de API asíncrona como núcleo del sistema, lo que permite el procesamiento eficiente de múltiples peticiones simultáneas y garantiza la escalabilidad de la solución.

Fuente de Datos

La selección de la fuente de datos fue crítica para garantizar la fiabilidad científica del sistema. Se seleccionaron dos proyectos complementarios de la NASA: el proyecto POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) del NASA Langley Research Center y el sistema MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2).

El proyecto POWER se utilizó como fuente primaria de datos climatológicos por: 1) Cobertura global con resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.625^\circ$, 2) Series temporales extensas que abarcan desde 1981 hasta el presente, 3) Validación científica rigurosa de los datos, 4) Disponibilidad pública mediante API REST, y 5) Múltiples parámetros meteorológicos de interés (temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros).

MERRA-2, por su parte, complementa los datos de POWER al proporcionar un sistema de reanálisis atmosférico de alta resolución que integra observaciones satelitales y de superficie con modelos numéricos avanzados. La combinación de ambas fuentes permite una caracterización más robusta y completa del estado atmosférico, mejorando la calidad de las estimaciones y análisis probabilísticos del sistema.

Procesamiento de Datos y Análisis Probabilístico

Para cada consulta del usuario (definida por latitud, longitud y fecha objetivo), el sistema ejecuta dos procesos paralelos:

Proceso 1: Análisis Histórico-Probabilístico

El sistema consulta automáticamente un histórico de 20 años de datos (desde 2005 hasta el año anterior al actual) para la ubicación geográfica especificada. Con estos datos se construyen distribuciones estadísticas para cada parámetro meteorológico. Se calculan las probabilidades de ocurrencia de eventos extremos mediante la definición de umbrales específicos:

- Probabilidad de helada: porcentaje de días históricos donde la temperatura mínima fue $\leq 0^\circ\text{C}$ en la fecha consultada (± 3 días)
- Probabilidad de calor extremo: porcentaje de días donde la temperatura máxima fue $\geq 35^\circ\text{C}$
- Probabilidad de precipitación significativa: porcentaje de días con precipitación ≥ 10 mm
- Probabilidad de vientos fuertes: porcentaje de días con velocidad del viento ≥ 20 km/h

Proceso 2: Estimación de Condiciones Actuales

Paralelamente, se calculan estimaciones de las condiciones esperadas para la fecha objetivo mediante el promedio de los datos de los últimos tres años para esa fecha específica. Este enfoque de "ventana móvil" permite capturar tendencias recientes sin perder

representatividad estadística. Se estiman: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación esperada, humedad relativa y velocidad del viento.

Adicionalmente, se calculan métricas derivadas de confort climático, incluyendo el índice de calor (heat index) que combina temperatura y humedad para estimar la sensación térmica percibida.

Integración de Inteligencia Artificial

Los datos cuantitativos generados (probabilidades históricas, estimaciones y métricas de confort) se estructuran como contexto y se envían a un modelo de lenguaje grande (LLM) de última generación. El modelo recibe instrucciones específicas para generar recomendaciones cualitativas en lenguaje natural, orientadas a tres aspectos: 1) Vestimenta apropiada, 2) Sugerencias de actividades, y 3) Precauciones específicas basadas en los riesgos identificados.

Este enfoque de traducción automática de datos numéricos a recomendaciones textuales es uno de los elementos diferenciadores de WIROP, pues cierra la brecha entre la información científica compleja y la necesidad práctica del usuario final.

Despliegue en Plataformas

El sistema se desplegó en dos plataformas complementarias: una aplicación web responsive y una aplicación móvil nativa. Ambas plataformas consumen la misma API backend, garantizando consistencia en los datos y permitiendo al usuario acceder a la información desde el dispositivo de su preferencia.

RESULTADOS

El resultado principal de esta investigación es una API robusta y funcional capaz de entregar un perfil de riesgo climático completo en una sola petición. A diferencia de un pronóstico convencional, que podría indicar "30% de probabilidad de lluvia", WIROP ofrece un análisis más profundo.

Por ejemplo, para una consulta en una ubicación agrícola, el sistema no solo estima la temperatura media, sino que informa sobre la probabilidad histórica de heladas en esa fecha específica. En pruebas para la región de Zitácuaro, Michoacán, el sistema estimó una temperatura y calculó una probabilidad de lluvia del 15% y una probabilidad de vientos fuertes inferior al 5%, basándose en los datos de las últimas dos décadas.

La validación inicial de las estimaciones de temperatura de la plataforma, comparadas con los datos de referencia de servicios comerciales, arrojó un margen de error relativo promedio del 5%, demostrando la fiabilidad del método de estimación.

La integración del modelo de lenguaje avanzado permite traducir los datos numéricos en un lenguaje natural y accionable. Por ejemplo, ante una alta humedad relativa y temperatura media, el sistema no solo reporta los valores, sino que genera una recomendación de "vestir ropa transpirable".

La innovación principal del proyecto reside en la "traducción" de estos datos climatológicos complejos a un formato visual e intuitivo, cerrando la brecha entre la ciencia de datos y el usuario final.

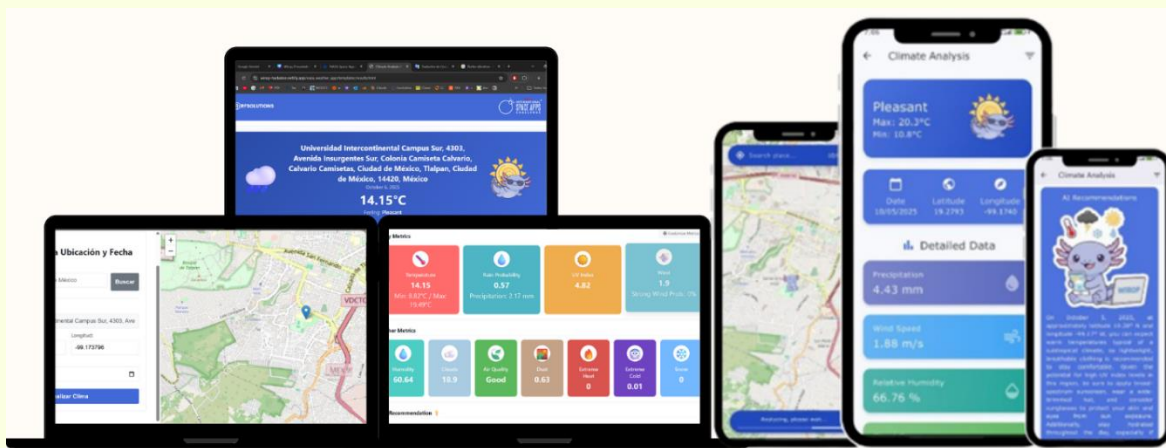


Figura 1 Interfaz de usuario de WIROP, en su versión web a la izquierda y su versión móvil a la derecha.

CONCLUSIONES

Se concluye que el sistema WIROP cumple con los objetivos planteados, entregando una API funcional que traduce datos brutos de la NASA en inteligencia climática accionable.

Se valida la hipótesis de que la combinación de análisis probabilístico histórico con IA generativa ofrece un valor superior a los pronósticos convencionales. Esta combinación facilita una gestión de riesgos y una planificación más robustas, convirtiendo datos complejos en recomendaciones claras y personalizadas.

La arquitectura como API permite su escalabilidad y consumo desde las plataformas web y móvil desarrolladas, demostrando su viabilidad como una herramienta de soporte a la decisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *FastAPI*. (s. f.). <https://fastapi.tiangolo.com/>
- *Global Modeling and Assimilation Office Research*. (s. f.). Global Modeling And Assimilation Office Research. <https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao-products/merra-2/>
- *NASA POWER homepage*. (s. f.). Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). <https://power.larc.nasa.gov/>

DETECCIÓN DE ANSIEDAD A TRAVÉS DE UN MODELO DE PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL

ANXIETY DETECTION THROUGH A NATURAL LANGUAGE PROCESSING MODEL



Oscar Daniel Torres-Guido¹

Dr. Rafael Salas Zárate²

Mtra. Felicitas López-Vargas³

Mtro. José Alfredo Jiménez-Meza⁴

RESUMEN

Las redes sociales se han convertido en una fuente masiva de datos que reflejan emociones, pensamientos y conductas de millones de personas. A través de sus publicaciones, los usuarios pueden manifestar indicios de bienestar o malestar psicológico, lo que convierte estas plataformas en un recurso valioso para el análisis de la salud mental. En este estudio se aplican técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) y aprendizaje automático para identificar patrones emocionales relacionados con la ansiedad en Reddit. Investigaciones previas, como la de Mieles Toloza, Delgado Meza y Acevedo-Suárez (2024), han empleado herramientas como LIWC, CNN, LSTM, RF y SVM para detectar alteraciones mentales en redes como X, obteniendo resultados positivos. El objetivo central de este trabajo es validar un modelo de inteligencia artificial que analice las interacciones en línea y permita detectar señales tempranas de ansiedad, contribuyendo a la prevención y atención de trastornos psicológicos.

ABSTRACT

Social media has become a massive source of data reflecting the emotions, thoughts, and behaviors of millions of people. Through their posts, users can express signs of well-being or psychological distress, making these platforms a valuable resource for mental health analysis. This study applies Natural Language Processing (NLP) and machine learning techniques to identify emotional patterns related to anxiety on Reddit. Previous research, such as that by Mieles Toloza, Delgado Meza, and Acevedo-Suárez (2024), has used tools like LIWC, CNN, LSTM, RF, and SVM to detect mental disturbances in networks like X, obtaining positive results. The central objective of this work is to validate an artificial intelligence model that analyzes online interactions and allows for the detection of early signs of anxiety, contributing to the prevention and treatment of psychological disorders.

Palabras clave: Redes sociales, Ansiedad, Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), Aprendizaje automático, Análisis de sentimientos

Key words: Social networks, Anxiety, Natural Language Processing (NLP), Machine learning, Sentiment analysis.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las redes sociales constituyen un vasto repositorio de información que refleja pensamientos, emociones y comportamientos de millones de personas en todo el

¹ Oscar Daniel Torres-Guido¹ es Estudiante en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro l22650278@zitacuaro.tecnm.mx

² Dr. Rafael Salas Zárate² es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro rafael.sz@zitacuaro.tecnm.mx

³ Mtra. Felicitas López-Vargas³ es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro felicitas.lv@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Mtro. José Alfredo Jiménez-Meza⁴ es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro jose.jm@zitacuaro.tecnm.mx

mundo. A través de publicaciones, comentarios e interacciones, los usuarios manifiestan experiencias personales que, en muchos casos, pueden evidenciar indicios de bienestar o malestar psicológico. Los trastornos mentales representan un problema de salud pública de gran relevancia, sobre todo cuando no son detectados ni tratados oportunamente.

Diversos estudios han demostrado el potencial del análisis del lenguaje natural en redes sociales para la detección temprana de problemas de salud mental. Coppersmith et al. (2023) exploraron el uso de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) en redes sociales para identificar síntomas de trastornos mentales, mostrando resultados prometedores en la detección de depresión y ansiedad. De forma similar, Orabi et al. (2022) aplicaron modelos de aprendizaje profundo para el reconocimiento automático de trastornos mentales en publicaciones digitales, logrando una precisión significativa en la clasificación emocional. Asimismo, Choudhury et al. (2023) destacaron la correlación entre los patrones de comportamiento en línea y la aparición de síntomas de ansiedad, enfatizando la utilidad del PLN para la vigilancia del bienestar psicológico en entornos digitales.

En este contexto, el presente estudio utiliza técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) y aprendizaje automático con el propósito de identificar patrones emocionales asociados a la ansiedad en la plataforma Reddit. Investigaciones previas, como la de Mielles Toloza, Delgado Meza y Acevedo-Suárez (2024), han empleado herramientas como LIWC, CNN, LSTM, RF y SVM para detectar alteraciones mentales en redes sociales, obteniendo resultados positivos. El objetivo principal de este trabajo es validar un modelo de inteligencia artificial capaz de analizar las interacciones de los usuarios y detectar señales de ansiedad en comunidades en línea que para el caso es Reddit, aportando así herramientas útiles para la detección temprana de posibles problemas de salud mental. Asimismo, los enfoques tradicionales como LIWC, SVM y RF siguen siendo herramientas valiosas por su sencillez, interpretabilidad y bajo costo computacional; sin embargo, los modelos basados en transformers como BERT y RoBERTa han transformado el campo del procesamiento del lenguaje natural al ofrecer una comprensión contextual y una capacidad predictiva muy superior, consolidándose como la opción preferente en aplicaciones modernas de análisis de textos.

METODOLOGÍA

En relación a la recolección de los datos se utilizó la red social Reddit, para la cual se seleccionaron los subreddits AnxietyHelp de la cual se esperaban resultados positivos de ansiedad al ser una comunidad donde la gente solicita ayuda al exponer sus casos y donde también hay personas que ofrecen experiencias pasadas y consejos a los usuarios; además del repositorio AskAnAmerican en donde se esperaban resultados neutrales o más variados, ya que es una comunidad donde las preguntas abarcan una gran cantidad de temas como deportes, comida, viajes e incluso temas más serios como política o economía. También se obtuvieron datos del subreddit MadeMeSmile donde se esperaban resultados negativos al ser un subreddit donde lo que abundan son los comentarios alegres de apoyo a otras personas. De cada uno se seleccionó de forma aleatoria un mínimo de 47 usuarios por subreddit (47 para MadeMeSmile, 58 para AnxietyHelp y AskAnAmerican) con un mínimo de 100

interacciones más recientes donde 50 de ellas son comentarios a otras publicaciones y 50 son sus propios textos en publicaciones. La extracción de los datos se realizó con un script de Python, para automatizar el proceso, se utilizó la librería Praw que interactúa directamente con la API oficial de Reddit. Se realizó una limpieza rápida de los datos en donde se eliminaron emojis y url's de los textos usados para un mejor funcionamiento del modelo de procesamiento de lenguaje natural.

Después de recopilar los comentarios de los usuarios, fueron procesados uno a uno utilizando un modelo de clasificación pre-entrenado denominado “j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base” el cual utiliza transformadores para su funcionamiento, disponible en la plataforma Hugging Face. Este modelo analiza el texto y devuelve como resultado la puntuación para cada emoción (tristeza, enojo, miedo, disgusto, alegría, sorpresa y neutral), es entonces que se aplican los algoritmos y principios de extracción de conocimiento descritos en la tesis de (Salas Zarate, 2024) para la identificación de sintomatología de trastornos mentales, donde se aplican multiplicadores a cada emoción según el trastorno que se desea identificar y finalmente se suman todas las emociones después de aplicar su multiplicador correspondiente, el resultado (valor promedio) el cual tiene como valor máximo 1.5 y -1.0 como valor mínimo a partir de aquí se le asigna una categoría de los siguientes niveles de ansiedad: mínima, leve, moderada y severa. A continuación, en la Tabla 1 se muestran los umbrales utilizados:

Tabla 1. Umbrales de ansiedad

Nivel de Ansiedad	Rango del Puntaje (Total)
Ansiedad severa	Total >= 1.0725
Ansiedad moderada	0.7155 <= Total < 1.0725
Ansiedad leve	0.3585 <= Total < 0.7155
Ansiedad mínima	Total < 0.3585

Finalmente se utilizó matplotlib para mostrar las gráficas de barras donde se muestra la comparación directa que es realizada por los mismos usuarios.

Aunque en su mayoría se utilizan herramientas para automatización, también se realizó una supervisión de forma manual, donde se revisaron usuarios de forma aleatoria para confirmar los valores que se obtienen del uso de las herramientas.

Para proteger la privacidad de los usuarios, todos los resultados se obtuvieron de forma anónima en donde lo único que conocemos es el subreddit de cada uno y el contenido de sus interacciones.

RESULTADOS

El análisis de los textos extraídos en el subreddit AnxietyHelp reveló el predominio de miedo, tristeza y disgusto, emociones comúnmente asociadas a los trastornos de ansiedad. Al realizar la comparación con los subreddit AskAnAmerican y MadeMeSmile se mostró una notable diferencia entre los valores promedio de los usuarios, donde se tiene que en la escala de -1 a 1.5 AnxietyHelp tiene un valor promedio de 0.500, AskAnAmerican tiene un valor promedio de 0.356 y MadeMeSmile tiene un valor promedio de 0.314. También se muestra la diferencia en la clasificación de cada usuario según su valor promedio, en donde el único subreddit que muestra usuarios con niveles de ansiedad moderada es el de AnxietyHelp con un 17% de los usuarios en ese nivel (Figura 1). De igual forma se realizó la comparación entre AnxietyHelp y AskAnAmerican tomando como referencia las interacciones de 58 usuarios donde se muestra un mayor índice en los usuarios del subreddit de AnxietyHelp (Figura 2).

Además, como se mencionó anteriormente, se revisaron algunos usuarios de forma manual, donde se encontró que, aunque existen usuarios de subreddits donde no se esperaban valores de ansiedad (AskAnAmerican, MadeMeSmile), también mostraban en su mayoría comentarios y publicaciones con textos cargados de emociones negativas. Los resultados sugieren que el modelo fue capaz de diferenciar correctamente el lenguaje utilizado en una comunidad enfocada en la ansiedad de la población general de Reddit. Es importante mencionar las limitaciones del estudio, ya que al trabajar con personas existe una gran probabilidad de que sus textos no puedan ser 100% apegados a la realidad, puede ser que en algún momento hagan algún tipo de broma que no se pueda detectar como tal por el modelo, y finalmente tiene el mismo problema que tendría un psicólogo real, ya que muchas veces las personas mienten al expresarse con los demás.

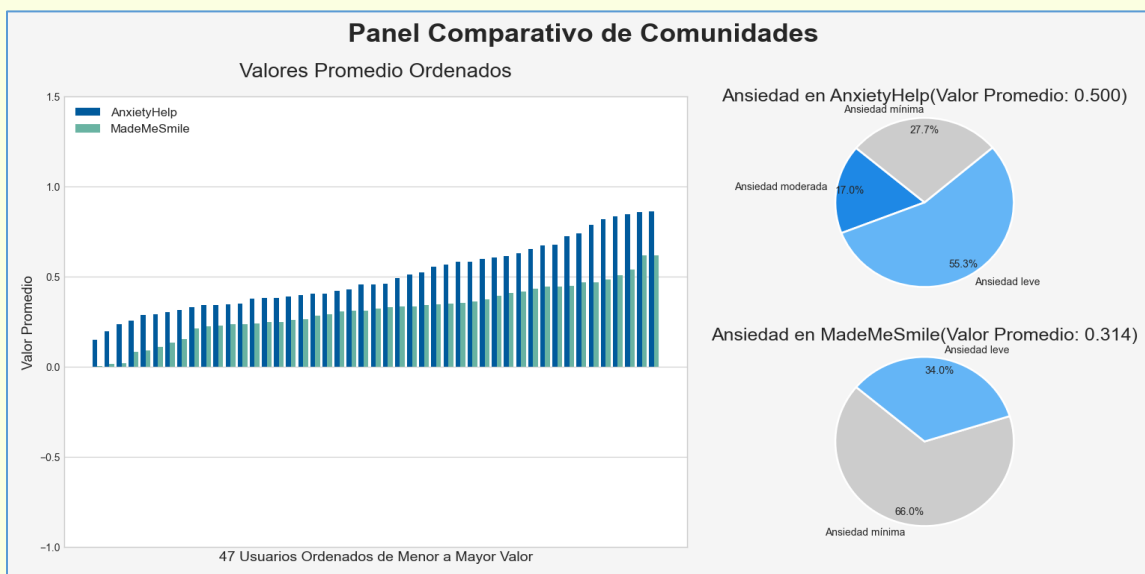


Figura 1. Detección de niveles de ansiedad entre AnxietyHelp y AskAnAmerican

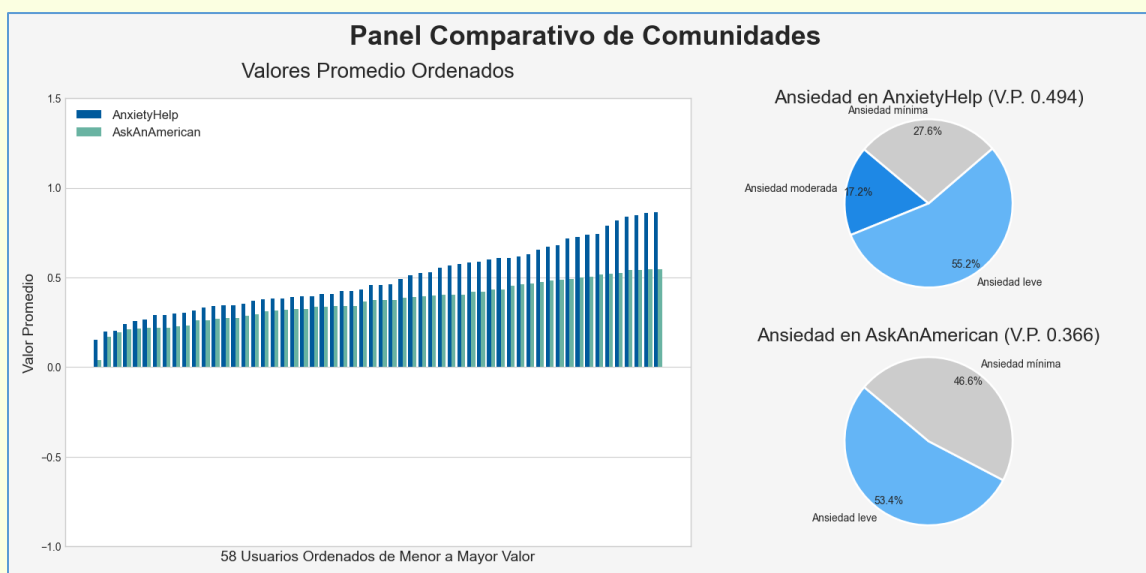


Figura 2. Comparativa entre AnxietyHelp y AskAnAmerican

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del uso combinado del modelo preentrenado “j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base” y del modelo propuesto por Salas Zárate (2024) para la detección de patrones emocionales vinculados con la ansiedad en redes sociales. Esta combinación mostró un desempeño superior al identificar correctamente las emociones predominantes en comunidades relacionadas con el trastorno mencionado, como el subreddit *AnxietyHelp*. El modelo logró distinguir con precisión las diferencias entre comunidades con distintos contextos emocionales, lo que evidencia su potencial como herramienta para el monitoreo del bienestar psicológico en entornos digitales. En conclusión, este enfoque representa una alternativa prometedora para la detección temprana de síntomas de ansiedad y podría servir como apoyo a profesionales de la salud mental en la prevención y atención de trastornos psicológicos, también podría ser de gran ayuda dentro de la misma plataforma donde se podrían implementar herramientas como un chatbot de Reddit que de forma automática y con consentimiento les diera un diagnóstico con una gran seguridad de que pueden tener un problema que es necesario atender a la brevedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Hartmann, J. (2021). *emotion-english-distilroberta-base*. Hugging Face. <https://huggingface.co/j-hartmann/emotion-english-distilroberta-base>
- PyPI. (s.f.). *PRAW: The Python Reddit API Wrapper*. The Python Package Index. <https://pypi.org/project/praw/>
- Reddit, Inc. (2025). *Reddit*. <https://www.reddit.com/>
- Salas-Zárate, R. (2024). *Tesis-Extracción de conocimiento en medios sociales para la identificación de la sintomatología de trastornos mentales mediante técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural y Aprendizaje Automático*. TECNMI/Instituto Tecnológico de Orizaba.

- Mieles Toloza, I., Delgado Meza, J., & Acevedo-Suárez, J. (2024). Análisis del lenguaje natural para la identificación de alteraciones mentales en redes sociales: Una revisión sistemática de estudios. *Revista Politécnica*, 53(1). <https://doi.org/10.33333/rp.vol53n1.06>
- Coppersmith, G., Leary, R., Crutchley, P., & Fine, A. (2023). Natural language processing of social media as screening for mental health disorders: A review. *Journal of Biomedical Informatics*, 147, 104464.
- Orabi, A. H., Buddhitha, P., Hachey, B., & Inkpen, D. (2022). Deep learning for detecting mental health disorders on social media. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22(1), 18.
- Choudhury, M. D., Gamon, M., Counts, S., & Horvitz, E. (2023). Predicting depression and anxiety from social media behavior. *ACM Transactions on the Web*, 17(3), 15.

EL PAGO DE IMPUESTO DEL COMERCIO INFORMAL Y SU IMPACTO EN EL GASTO PÚBLICO DE ZITÁCUARO

THE PAYMENT OF INFORMAL TRADE TAX AND ITS IMPACT ON PUBLIC SPENDING IN ZITÁCUARO



*Dra. María del Carmen Clara Arcos Ortega*¹

*Dr. José Luis Martínez Alcántar*²

*C. Dafne Susana Reyes Martínez*³

*C. Guadalupe Ruiz Contreras*⁴

RESUMEN

El presente estudio analiza cómo las obligaciones fiscales inciden en el crecimiento del comercio informal y su impacto en el gasto público del municipio de Zitácuaro. El objetivo fue evaluar el incumplimiento del pago de impuestos por parte del comercio informal y su influencia en el ingreso al gasto público. La investigación es de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, con una población de 2,500 comerciantes de la unión de comercio informal. La muestra se determinó mediante muestreo aleatorio simple, obteniendo un total de 66 comerciantes. Se aplicó una encuesta con un 0.76 de fiabilidad de acuerdo al Alfa de Cronbach, los datos fueron analizados con el software SPSS. Se concluye que la falta de cultura tributaria, la forma de recaudar los impuestos y el desempleo que existe, son algunos de los factores determinantes en el incremento del comercio informal.

ABSTRACT

This study analyzes how tax obligations influence the growth of informal trade and their impact on public spending in the municipality of Zitácuaro. The objective was to evaluate non-compliance with tax payments by informal trade and its influence on public spending. The research is quantitative and descriptive in scope, with a population of 2,500 merchants from the informal trade union. The sample was calculated using simple random sampling, obtaining a total of 66 merchants. A survey was administered with 0.76 reliability according to Cronbach's alpha, and the data were analyzed using SPSS software. It is concluded that the lack of tax culture, the method of tax collection, and current unemployment are some of the determining factors in the increase in informal trade.

Palabras clave: Cultura tributaria, comercio informal, impuestos, comerciantes.

Key words: Tax culture, informal trade, taxes, merchants.

INTRODUCCIÓN

El comercio informal se ha consolidado en México como una alternativa de subsistencia ante las limitadas condiciones laborales del sector formal, caracterizado por bajos salarios, trámites complicados y ausencia de protección social. Esta modalidad, aunque representa una fuente de ingresos para miles de familias, implica también la exclusión del sistema tributario, lo cual afecta directamente la capacidad del gobierno para sostener sus funciones

¹ María del Carmen Clara Ortega Arcos Ortega, Docente de la Maestría en Gestión Administrativa del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, maria.aol@zitacuaro.tecnm.mx

² José Luis Martínez Alcántar, Docente de la Maestría en Gestión Administrativa del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, jose.ma@zitacuaro.tecnm.mx

³ Dafne Susana Reyes Martínez, estudiante de la Licenciatura en Contaduría Pública del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, L21650221@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Guadalupe Ruiz Contreras, estudiante de la Licenciatura en Contaduría Pública del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, L21650222@zitacuaro.tecnm.mx

administrativas y operativas. En el municipio de Zitácuaro, Michoacán, el comercio informal constituye uno de los principales motores económicos locales, movilizándolo grandes volúmenes de mercancía y generando ingresos significativos. Esta derrama no se refleja en las arcas públicas debido al bajo cumplimiento en el pago de impuestos, lo que limita la eficiencia institucional en procesos esenciales como fiscalización, control comercial, gestión administrativa y regulación del espacio público.

Esta problemática se presenta en otros países, tal es el caso de Perú donde se realizó un estudio para determinar los casos en los que el comercio informal cumple las obligaciones tributarias en tiempos de pandemia, aplicando un cuestionario a 44 comerciante, con un estudio de enfoque social y educativo y concluyó que no existe una relación entre el pago de contribuciones y el comercio informal (Rodríguez y Valle, 2022). Por otro lado, (Ordoñez y Quispe, 2023), investigaron sobre la cultura tributaria y el cumplimiento de las obligaciones tributarias en los comerciantes del mercado modelo de Bagua Grande, con un estudio cuantitativo, aplicando 66 cuestionarios analizados con estadística inferencial, obtuvo como resultado que el cumplimiento de obligaciones tributarias se correlaciona con el conocimiento y la conciencia tributaria.

Por su parte, (Mendoza y Yáñez, 2014), estudiaron sobre la influencia del gasto y la inversión pública en la dinámica económica de Colombia durante 2000-2011, utilizando un modelo de datos de efectos fijos que refleja las diferencias entre departamentos, captura el impacto del gasto y la inversión con la temporalidad e información disponible, identificando un efecto significativo del gasto y la inversión pública y el crecimiento de las economías departamentales pequeñas, siendo menor al que capitalizan las economías grandes y pequeñas. Un estudio sobre estrategias tributarias para la promoción del cumplimiento de las obligaciones de los comerciantes del mercado modelo Chiclayo, realizado por (Manayay y Quesquén, 2019) con un enfoque social y educativo y paradigma cuantitativo, utilizó 317 encuestas, concluye que las propuestas que se tienen establecidas no se llevan de manera adecuada y que deben implementar nuevas estrategias.

Otros como (Zumaya y Hernández, 2020) identifican las características del comercio informal en el centro histórico de la ciudad de Zacatecas, sus relaciones conflictivas con el comercio formal y el rol de las autoridades municipales, responde a ¿Cuáles son las características del comercio informal y cuál es el rol del gobierno?, su hipótesis es que los negocios informales son una manera de sobrevivir y el gobierno debe regularlo, sus variables son el comercio informal y las autoridades municipales. El enfoque utilizado fue cuantitativo, se aplicaron entrevistas, para analizar los datos se utilizaron estadísticas inferenciales. Obteniendo como resultados que el centro de Zacatecas no puede ser despejado por lo que concluyen que deben buscar estrategias igualitarias para las autoridades y para los comerciantes.

Por su parte, (Chávez y Medina, 2021) buscan conocer la situación de la economía informal y las consecuencias que esto genera, responden a la pregunta sobre ¿Cómo afecta la informalidad del comercio respecto de la evasión fiscal a México? mencionan que lo que afecta de manera negativa a los mexicanos es la falta de programas estructurales que los gobiernos estatales tienen que desarrollar, las variables son la informalidad del comercio y la

evasión fiscal. Su enfoque fue cuantitativo y cualitativo en el aspecto normativo fiscal, concluyen que el exceso de trámites, corrupción y un inadecuado método de recaudación de impuestos ha convertido al negocio informal en una alternativa de subsistencia y a su vez, genera disminución en las finanzas públicas convirtiéndola en una constante influyente en la economía mexicana.

Un análisis más realizado por (Godínez, et al., 2016), responde a la pregunta ¿Cuáles son las principales variables macroeconómicas que afectan al gasto público en México? Su hipótesis es que los ingresos presupuestarios totales y la inversión total se relacionan con el gasto público en México, mientras que el tipo de cambio y el costo financiero de la deuda, lo hacen de forma indirecta, las variables son organismos macroeconómicos y el gasto público. Se estudió bajo un modelo de regresión, con enfoque cuantitativo de acuerdo con las estadísticas concluyendo que existe una relación directa entre el gasto público, el ingreso presupuestario total y la inversión total, anulando la convención de la relación indirecta entre el gasto público, tipo de cambio y el costo financiero de la deuda.

La investigación “Régimen de Incorporación Fiscal: impacto generado en el comercio informal y recaudación de impuestos”, realizada en Ciudad Hidalgo por (Pérez y Delgado, 2021), que identifica la causa por la cual no se cumplen los objetivos del Régimen de Incorporación Fiscal, responde a ¿Cuál es la principal causa de que no se esté cumpliendo los objetivos que se tenían planteados con la integración del Régimen de Incorporación Fiscal?, su hipótesis es que el desánimo de los contribuyentes surge de la mala aplicación de impuestos y la falta de cultura tributaria, el enfoque utilizado fue cualitativo. Obteniendo como resultados que los regímenes especiales pierden ingresos que deberían ser recaudados por el Gobierno Federal, concluyendo que la mala aplicación de impuestos y la falta de cultura tributaria causa el desánimo de los contribuyentes.

“La recaudación del impuesto sobre la renta de personas físicas de régimen intermedio del sector agrícola del estado de Michoacán”, realizada en Morelia, Michoacán por (Vargas, 2016), determina las variables que influyen al recaudar el impuesto sobre la renta de agricultores del estado de Michoacán, responde a ¿Cómo influyen la educación, estímulos fiscales, cultura fiscal y la fiscalización en la recaudación del impuesto sobre la renta del Régimen Intermedio de Agricultores? La hipótesis es que los factores mencionados en la pregunta de investigación son determinantes para la recaudación del impuesto. Se aplicaron 50 cuestionarios, para analizar los datos se utilizó la escala nominal. El resultado fue que los agricultores conocen sobre el pago de impuestos y demás actividades relacionadas, concluyendo que la educación y cultura fiscal determinan la baja recaudación del impuesto sobre la renta.

La presente investigación busca analizar el impacto negativo que genera el incumplimiento del pago de impuestos del comercio informal en el gasto público, porque actualmente se ha visto que el comercio en la ciudad de Zitácuaro Michoacán, mantiene un fuerte movimiento en la economía, es decir, la mayoría de los comerciantes mueven grandes cantidades de mercancía y esto provoca que tengan altos ingresos, pero no se ve reflejado en el gasto público y por ende, los servicios otorgados por el gobierno no pueden ser mejorados.

En esta investigación se plantean las siguientes preguntas problematizadoras: ¿Qué es un negocio informal? ¿Cuál es el factor principal por el cual un negocio no cumple con las obligaciones fiscales? ¿En qué regímenes se ubica al comercio informal? ¿Cuál es la importancia de las obligaciones fiscales? ¿Cuáles son las sanciones en evasión de impuestos? ¿Existe relación entre la cultura tributaria y el pago de impuestos? ¿Cómo afecta el incumplimiento del pago de impuestos al gasto público? ¿Qué beneficios obtiene la sociedad al aumentar el ingreso del gasto público? Las cuáles serán descritas a lo largo de la presente investigación. Con todo lo anterior se llega a la pregunta central del proyecto, la cual es: ¿Cómo influye el incumplimiento del pago de impuestos del comercio informal en el gasto público?

El estudio presenta algunas limitaciones. Ya que la información recabada depende de declaraciones auto informadas, lo que puede implicar sesgos de deseabilidad social, es decir, la tendencia de las personas a dar respuestas en lo que consideran socialmente aceptables en lugar de su propia opinión. Además, el análisis se enfoca exclusivamente al comercio informal registrado en la unión local, por lo que no se incluyen trabajadores independientes no afiliados u otras formas de informalidad. Por último, este estudio no evalúa el destino específico del gasto público, sino su disponibilidad presupuestaria general vinculada a la recaudación.

Pese a estas restricciones, los resultados obtenidos permitirán contribuir al debate sobre la informalidad no desde una óptica exclusivamente laboral o social, sino desde su impacto directo en la capacidad institucional del Estado para operar y administrar los recursos públicos. Por lo tanto, esta investigación pretende no solo evidenciar un problema fiscal, sino aportar elementos para el diseño de estrategias tributarias más inclusivas y viables para el contexto local.

METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo y descriptivo. El diseño de la investigación es transversal, para evaluar el estado actual del cumplimiento de las obligaciones tributarias. Se empleó como instrumento de recolección de datos la encuesta que se conformó por una serie de nueve preguntas que fueron estructuradas y predefinidas para ser contestadas por los comerciantes que ejercen el comercio informal, donde las preguntas 1, 2, 3, 4 y 6 corresponden a la variable independiente y las preguntas 5, 7, 8 y 9 a la variable dependiente.

En el proceso de la formulación de preguntas se tomó en cuenta la variable independiente que es el porcentaje del cumplimiento de responsabilidades fiscales del comercio informal, donde sus dimensiones son la contabilidad, fiscal, sociología y derecho penal, cuyos indicadores son los registros operacionales, cálculo de impuestos, tasas de impuestos, frecuencia de pagos, multas y sanciones, cultura tributaria y métodos de pago. Por otro lado, se tomó en cuenta también la variable dependiente que es el gasto público donde se establece como dimensiones los presupuestos, economía, administración y auditoría, cuyos indicadores son el tiempo de recaudación, durabilidad del recurso, economía del estado, beneficios

sociales, eficiencia gubernamental, eficacia del servicio de administración tributaria y la realización de auditorías.

Cada ítem está estructurado por la combinación de uno o dos indicadores. Para la escala de respuestas se utilizó la escala de Likert que (Ñaupas et al. 2014) definen como el conjunto de reactivos que se presentan en forma de afirmaciones o proposiciones que responden los investigados. En la encuesta se estableció como escala 5 posibles respuestas que fueron, totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni acuerdo ni desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo, siendo una escala unidimensional ordenada. Al ser completada la encuesta se dio inicio a la prueba piloto, para ello se seleccionaron 10 personas de la muestra para ser aplicada. Se sometieron las respuestas resultantes a la prueba de alfa de Cronbach para determinar la fiabilidad o precisión del instrumento utilizado. El valor del Alfa de Cronbach $\alpha = 0.76$ de confiabilidad, lo que indica que tiene la consistencia necesaria para que el instrumento se considere confiable.

La población de estudio está conformada por los diferentes comerciantes informales que no tienen dado de alta su negocio y no informan sobre sus operaciones realizadas a las autoridades correspondientes. En el año 2023 el tamaño poblacional estaba conformado por alrededor de 2,500 comerciantes que ejercen diferentes actividades económicas en Zitácuaro, Michoacán y no aportan al gasto público. Este dato fue extraído del departamento de servicios públicos ubicado en el Ayuntamiento, el cual lleva un manejo sobre el comercio que se emplea en dicho municipio. Para la recolección de datos, se empleó Google Forms, facilitando el acceso de los participantes al cuestionario la recopilación de información de forma eficiente y estructurada, además, se utilizó el Software SPSS statistics de IBM para analizar estadísticamente datos obtenidos.

Los comercios seleccionados se ubican en el mercado Melchor Ocampo, las calles Allende Poniente y 5 de Mayo, el mercado Solidaridad y los localizados en la central camionera entre la calle General Pueblita y Cuauhtémoc Oriente, finalmente el tianguis que se localiza en las calles Guadalupe Victoria Norte y Cuauhtémoc Poniente, que se coloca una vez a la semana, específicamente los jueves, pero también es un lugar donde se fomenta el comercio informal. se realizaron las encuestas de acuerdo al tamaño y giro de los puestos, es decir, comerciantes que se encuentran en un pequeño pedazo del mercado con sus cubetas de verduras, carnicerías, pollerías, puestos grandes donde se venden verduras y frutas y puestos donde venden legumbres. Para así lograr identificar si el tamaño, giro u otro factor interviene en el incumplimiento del pago de impuestos.

RESULTADOS

En términos cuantitativos en la Figura 1 se muestra información que da respuesta a las preguntas planteadas en este estudio, que fueron obtenidos con el instrumento aplicado a la muestra el cual se conformó de 9 preguntas. La interpretación de los resultados se realizó agrupando las respuestas en tres categorías como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Agrupación de respuestas en categorías

Categoría original Likert	Agrupación
Totalmente en desacuerdo + En desacuerdo	Desacuerdo
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Neutral
De acuerdo + Totalmente de acuerdo	De acuerdo

Fuente: Elaboración propia.

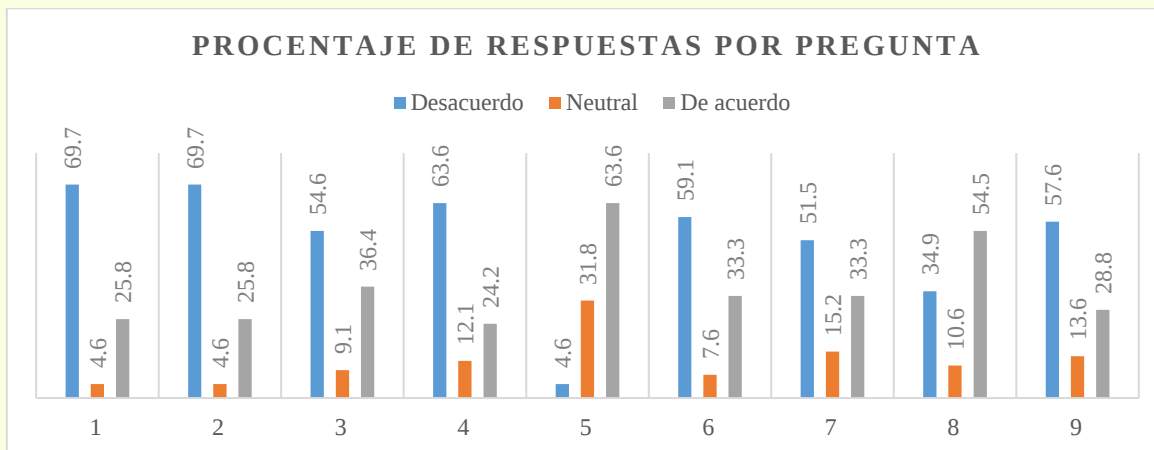


Figura 1. Porcentajes agrupados de respuestas por pregunta

Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 1. ¿Su negocio está dado de alta en el Registro Federal de Contribuyentes?

El 69.7 % manifestó desacuerdo, el 4.5 % se mantuvo neutral y el 25.1 % expresó acuerdo respecto a estar inscritos en el RFC.

Pregunta 2. ¿Conoce el procedimiento para inscribirse en el Registro Federal de Contribuyentes?

El 69.7 % indicó desconocimiento del procedimiento (desacuerdo), el 4.5 % permaneció neutral y el 25.8 % manifestó conocimiento (acuerdo).

Pregunta 3. ¿Realiza el registro de las operaciones económicas de su negocio?

El 54.5 % declaró no llevar registros formales de sus operaciones, el 9.1 % se ubicó en posición neutral y el 36.4 % afirmó realizar algún tipo de registro.

Pregunta 4. ¿Reconoce las tasas de impuestos que se manejan actualmente en México?

El 63.6 % expresó desconocimiento, el 12.1 % se mantuvo neutral y el 24.2 % señaló conocerlas.

Pregunta 5. ¿Considera que el incremento del comercio informal se debe a la tasa de desempleo en el país?

El 1.5 % manifestó desacuerdo, el 3.0 % se mantuvo neutral y el 95.5 % expresó acuerdo con esta afirmación.

Pregunta 6. ¿Identifica las implicaciones que resultan del incumplimiento del pago de impuestos?

El 59.1 % indicó desconocer las implicaciones, el 7.6 % se posicionó de forma neutral y el 33.3 % manifestó tener conocimiento al respecto.

Pregunta 7. ¿El tiempo de recaudación de impuestos determina la durabilidad de los recursos y la satisfacción del gasto público?

El 51.5 % expresó desacuerdo, el 15.2 % se mantuvo neutral y el 33.3 % manifestó acuerdo.

Pregunta 8. ¿La satisfacción y los beneficios sociales se deben a las normas y regulaciones tributarias?

El 39.9 % manifestó desacuerdo, el 10.6 % se ubicó en neutral y el 54.5 % expresó acuerdo.

Pregunta 9. ¿Considera que el gobierno invierte completamente en el gasto público los recursos recaudados por impuestos?

El 57.6 % manifestó desacuerdo, el 13.6 % se mantuvo neutral y el 28.8 % expresó acuerdo.

Los resultados reflejan un bajo nivel de formalización fiscal y de conocimiento tributario entre los comerciantes encuestados. Predominan las respuestas en desacuerdo en aspectos relacionados con el registro ante el RFC, el manejo de tasas impositivas y la identificación de las obligaciones legales, mientras que se observa un consenso mayoritario únicamente en torno a la percepción del desempleo como causa del comercio informal. Si bien existe cierta aceptación sobre el impacto positivo de las normas tributarias en el bienestar social, prevalece la desconfianza respecto al uso gubernamental de los recursos recaudados. Estos hallazgos permiten identificar áreas críticas para el fortalecimiento de la cultura contributiva y la gestión fiscal a nivel local.

CONCLUSIONES

Los comerciantes no conocen el procedimiento para inscribirse en el Registro Federal de Contribuyentes, lo que ocasiona que en su mayoría no se encuentren registrados y por ende no paguen impuestos, esto se debe a la falta de cultura tributaria que existe en la sociedad tomando en cuenta que en su mayoría se habla de personas que no tienen un grado de estudio mayor a la preparatoria, sin conocimientos sobre leyes o normas con respecto al marco fiscal, por lo que tampoco reconocen la cantidad a pagar, las tasas de impuestos y mucho menos el tiempo en que deben ser pagados. La falta de cultura lleva a los comerciantes a no saber las sanciones que se les pueden adjudicar debido al incumplimiento del pago de impuestos, y claro, al no reconocer estas sanciones, para ellos es factible abrir un negocio de manera informal, ya que desde su perspectiva no existe un factor que lo impida, a esto se debe que el comercio informal crezca cada vez más.

La investigación arrojó un hallazgo muy peculiar dentro del sector económico, y es que gran parte de los contribuyentes no realiza un registro de las operaciones que se efectúan en su negocio, comentaban muy pocos que solo anotaban en alguna libreta u hoja lo que compraban o vendían, lo que significa que una gran parte de los comerciantes viven al día y no creen necesario llevar control sobre su mercancía, en temas generales no se dan cuenta si con su negocio obtienen ganancias, pérdidas o algún beneficio, simplemente viven al día.

Por otro lado, la tasa de desempleo que existe en México juega un papel fundamental dentro del sector económico, especialmente del comercio informal, ya que al no existir oportunidades de empleo suficientes para que todos los zitacuarenses tengan un trabajo en donde obtengan ingresos suficientes para vivir, estos buscan la manera de satisfacer sus necesidades e inclusive sus deseos de la manera en que puedan, en su mayoría deciden emprender un negocio propio que permita flexibilidad de tiempo, que la familia pueda participar y que obtengan las suficientes ganancias como para vivir. Para los comerciantes, así como para la sociedad, lo más importante es poder otorgar comida, educación y servicios de salud para su la familia, por lo que buscarán una manera de subsistir sin importar si es de una manera informal o formal.

De acuerdo con datos del (INEGI, 2024), la informalidad en México aportó en 2023 apenas el 24.8% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. En otras palabras, por cada 100 pesos generados en el país, las actividades formales contribuyeron con 75 pesos, mientras que las informales solo aportaron 25. Este resultado coincide con los hallazgos de la presente investigación, al evidenciar que la recaudación fiscal derivada del comercio informal resulta insuficiente para cubrir las necesidades del gasto público durante el periodo anual de recaudación. En términos generales, si una proporción significativa de la población económicamente activa se dedica al comercio sin cumplir con sus obligaciones tributarias, los ingresos municipales se reducen considerablemente, limitando la capacidad del gobierno para ofrecer servicios públicos de calidad y atender de manera integral las demandas sociales.

Se identifican coincidencias con lo señalado por (Zumaya y Hernández, 2020), quienes afirman que el Estado no percibe impuestos provenientes del comercio informal. Asimismo, los resultados de este estudio evidencian que las normas y leyes tributarias han sido determinantes para garantizar que los ingresos destinados al gasto público se mantengan, al establecer los procedimientos, fundamentos y disposiciones que regulan el cumplimiento fiscal.

Respecto a la pregunta 5, el 95.5 % de los encuestados consideró que el incremento del comercio informal está directamente relacionado con la tasa de desempleo en el país, mientras que solo el 1.5 % manifestó desacuerdo y el 3.0 % se mantuvo neutral. Estos resultados reflejan una percepción generalizada de que la falta de oportunidades laborales formales impulsa a la población a incorporarse al comercio informal como alternativa de subsistencia. Este hallazgo coincide con los datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del (INEGI, 2025), la cual reportó una tasa de informalidad laboral del 56.1 %, cifra superior al 54.5 % registrado en el mismo mes de 2024.

El incremento de 1.6 puntos porcentuales sugiere que, ante un contexto de insuficiencia de empleos formales y salarios bajos, una parte considerable de la fuerza laboral opta por el autoempleo sin registro fiscal. Esto refuerza la idea de que la informalidad económica actúa como un amortiguador del desempleo, pero al mismo tiempo reduce la base tributaria y limita la capacidad del Estado para financiar servicios públicos mediante el gasto público.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INEGI (2024). *Medición de la economía informal (MEI) 2023, preliminar*. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/MDEI/MDEI2023.pdf>
- INEGI (2025). *Encuesta nacional de ocupación y empleo (ENOE), Indicadores de ocupación y empleo, 28 de agosto de 2025*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2025/iooe/IOE2025_08.pdf
- Chávez, J. L., & Medina, C. D. (2021). *La informalidad del comercio en México: Retos para la 4T respecto de la evasión fiscal*. *Revista Jurídica Primera Instancia*, 10(1), 85–100. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8909570>
- Godínez, L., Figueroa, E., y Pérez, F. (2016). *Determinantes del gasto público en México, 1980–2016* [Documento de trabajo]. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. http://ru.iiec.unam.mx/4244/1/6-Vol1_Parte3_Eje4_Cap3-082-Godinez-Figueroa-Perez.pdf
- Manayay, J. C., y Quesquén, V. D. (s.f.). *Estrategias tributarias para promover el cumplimiento de las obligaciones tributarias en los comerciantes del Mercado Modelo, Chiclayo*. [Trabajo de investigación de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5456/BC-041%20MANAYAY%20GUEVARA-QUEQUEN%20CHOZO.pdf>
- Mendoza, H. A., y Yanes, C. A. (2014). Impacto del gasto público en la dinámica económica regional. *Revista Finanzas y Política Económica*, 6(1), 23–41. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2014.6.1.2>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la tesis* (4ª Ed.). pp. 201. Ediciones de la U.
- Ordoñez, M. F., y Quispe, F. K. (2023). *Cultura tributaria y el cumplimiento de las obligaciones tributarias en los comerciantes del mercado Modelo Bagua Grande 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/116349/Ordo%c3%b1ez_SFDM-Quispe_CFK-SD.pdf
- Pérez, J., y Delgado, V. A. (2021). *Régimen de incorporación fiscal: Impacto generado en el comercio informal y recaudación de impuestos*. *Revista Ciri Empresarial*, 12(2), 245–260. <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2022/03/Ciri-empresarial-2-reducido.pdf#page=253>
- Rodríguez P., J., y Valle F., F. (2022). *El comercio informal en tiempos de pandemia y su incidencia en el cumplimiento de las obligaciones tributarias de los comerciantes del mercado Mayorista, distrito de Trujillo* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/item/0750d270-1bfb-4c84-827b-e471c16c7492>
- Vargas, M. (2006). *Estrategias en la recaudación del impuesto sobre la renta de personas físicas del régimen intermedio de agricultores del Estado de Michoacán* [Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5803
- Zumaya, E., & Hernández J., L. (2020). *El comercio informal en el centro histórico de la ciudad de Zacatecas, Zacatecas, México*. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(3), 128–145. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7740377>

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ADMISIÓN CON RESPECTO A UN MARCO DE REFERENCIA DE ACREDITACIÓN

EVALUATION OF THE ADMISSION PROCESS WITH RESPECT TO AN ACCREDITATION REFERENCE FRAMEWORK



Ing. Miriam Yolanda García Valderas¹

Dra. Minerva Cristina García Vargas²

RESUMEN

Este estudio analiza el proceso de admisión de una institución de educación superior frente a un marco de referencia de acreditación con el propósito de determinar su nivel de alineación y detectar brechas documentales y operativas. La metodología se estructuró en tres fases: (i) análisis del criterio de admisión y definición de evidencias mínimas; (ii) revisión del procedimiento institucional y verificación con actores clave; y (iii) evaluación comparativa mediante una matriz que asigna juicios de cumplimiento y registra observaciones de trazabilidad. Los resultados evidencian fortalezas en la existencia de normativa básica y áreas de mejora en difusión planificada, estandarización de evidencias, trazabilidad de decisiones y seguimiento con indicadores. Se concluye que la matriz propuesta objetiva el cumplimiento, orienta acciones prioritarias de estandarización y control y es replicable a otros criterios y ciclos de admisión.

ABSTRACT

This study examines the admission process of a higher education institution against an accreditation reference framework to determine its alignment and identify documentary and operational gaps. The methodology comprised three phases: (i) analysis of the Admission criterion and definition of minimum evidence; (ii) review of the institutional procedure and verification with key stakeholders; and (iii) comparative evaluation using a matrix that assigns compliance judgments and records traceability observations. The findings indicate strengths in the existence of basic regulations and areas for improvement in planned outreach, standardization of evidence, decision traceability, and indicator-based monitoring. The study concludes that the proposed matrix objectifies compliance, guides priority actions for standardization and control, and is replicable to other criteria and admission cycles.

Palabras clave: Proceso de admisión, requerimientos, evidencias, marco de referencia.

Key words: Admission process, requirements, evidence, reference framework.

INTRODUCCIÓN

La calidad educativa es condición para la confianza social en la formación profesional y para la pertinencia de los egresados ante retos tecnológicos y productivos. Asegurarla exige procesos claros, medibles y trazables, sustentados en evidencias y mejora continua. En ese marco, la admisión es la puerta de entrada al perfil de egreso esperado: define quién accede, con qué condiciones y bajo qué criterios. Los marcos de referencia de acreditación no son un fin, sino instrumentos para alinear prácticas con estándares y rendición de cuentas (Hernández Paz et al., 2023).

¹ Ing. Miriam Yolanda García Valderas es docente del Departamento de Ciencias Básicas del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zitácuaro, miriam.gv@zitacuaro.tecnm.mx

² Dra. Minerva Cristina García Vargas es jefa de investigación del programa de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zitácuaro, minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

Uno de los organismos acreditadores más reconocidos en México para evaluar la calidad de los programas de ingeniería utiliza procesos de evaluación por pares y mejora continua, actualizando frecuentemente su Marco de Referencia y organizando la evaluación en categorías y criterios que traducen la calidad en requerimientos verificables, orientados por principios de pertinencia, equidad, transparencia y resultados. El marco de referencia enfatiza la gestión basada en evidencias, la trazabilidad de procesos clave (como admisión) y la retroalimentación sistemática para cerrar brechas. Así valida el cumplimiento, y guía a las instituciones en la estandarización y mejora de sus prácticas académicas y administrativas. La presente investigación toma como base las categorías y los criterios de este Organismo Acreditador (OA).

En la Institución de Educación Superior (IES) donde se llevó a cabo este trabajo investigativo, si bien existe un proceso operativo de admisión, declarado en su Sistema de Gestión de Calidad (SGC), en el Procedimiento de Admisión, no se conoce con precisión el grado de cumplimiento de los requerimientos con respecto a los estándares del OA, lo cual dificulta priorizar acciones de mejora, estandarizar evidencias y sustentar con solidez las decisiones para la evaluación externa. Derivado de lo anterior, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el nivel de cumplimiento del proceso de admisión institucional respecto a los requerimientos de admisión del OA?, ¿Qué evidencias son inexistentes, incompletas o no estandarizadas?, ¿Qué acciones de mejora permitirían alcanzar el cumplimiento esperado?

El objetivo de la investigación es evaluar el grado de cumplimiento del proceso de admisión de la IES respecto de los requerimientos de admisión del OA, identificar brechas documentales y operativas.

Determinar con evidencia el grado de cumplimiento de los requerimientos permitirá reducir la incertidumbre en la preparación para acreditación, priorizar intervenciones de alto impacto en trazabilidad y consistencia y sentar bases para un sistema de gestión de acreditación replicable en otros criterios y categorías del OA.

La investigación se realizó en una IES que ofrece programas de licenciatura y posgrado. El análisis solo es acerca del proceso de admisión de licenciatura. Como base se empleó el procedimiento institucional de admisión vigente, complementado con minutas de trabajo, entrevistas a actores clave (área académica, desarrollo académico, gestión de la calidad, coordinación de programa) y revisión de expedientes. El contexto operativo abarca la difusión de la convocatoria, la recepción y evaluación de solicitudes, el dictamen y la formalización del ingreso, dentro de un sistema de gestión con controles documentales y responsabilidades definidas.

En las limitaciones se encontró que la evaluación dependió de la disponibilidad y la calidad de la documentación. Las entrevistas se aplicaron a un conjunto acotado de colaboradores. La medición de cumplimiento se basó en una rúbrica interna con puntajes simples. No se incorporan indicadores de resultado ni comparaciones externas con otras instituciones o marcos alternativos. Finalmente, ajustes normativos o procedimentales posteriores a la recolección de datos pueden afectar la vigencia de algunas interpretaciones.

METODOLOGÍA

El estudio adopta un enfoque de investigación aplicada con orientación descriptivo - evaluativa.

En la primera fase se revisó el marco de referencia del OA para ubicar el Criterio de Admisión y extraer su fundamentación, preguntas para reflexionar y ejemplos de evidencias como guía de autoevaluación. A partir de ello, se estableció que la admisión debe alinearse con el compromiso social institucional, contar con perfil de ingreso explícito y requisitos definidos y difundidos, operar mediante un proceso transparente y estandarizado, documentar excepciones, asegurar selección conforme a la normatividad y mantener seguimiento con mejora continua. Con lo anterior se definió el conjunto de evidencias mínimas estandarizadas para su verificación (ver Tabla 1).

Tabla 1 Requerimientos y evidencias mínimas estandarizadas de Admisión del OA

Requerimiento	Evidencia mínima estandarizada	Descripción breve de la evidencia	Formato sugerido
Proceso de admisión transparente, estandarizado y difundido	Políticas y procedimiento de admisión del PE	Documento que define flujo, etapas, roles, criterios y puntos de control; asegura transparencia y trazabilidad	Documento normativo con portada técnica, diagrama de flujo, control de cambios (PDF)
Proceso comunicado de forma planificada	Estrategia de difusión del proceso	Plan de canales de difusión, mensajes, calendario y responsables de difusión.	Plan de comunicación y evidencias de publicación (PDF/Web)
Perfil de ingreso explícito y accesible al público	Perfil de ingreso del PE publicado	Enunciado del perfil con competencias/condiciones de entrada; visible para aspirantes.	Página web institucional y folleto oficial con control de versión (PDF/web)
Requisitos de admisión claros y accesibles	Requisitos de admisión publicados	Lista de requisitos (institucionales y del PE), fechas, vías de ingreso y criterios.	Convocatoria/micrositio, cartelera; archivo PDF controlado
Materiales de promoción fieles al perfil y requisitos	Materiales de promoción alineados	Piezas de comunicación veraces y consistentes con el perfil y requisitos.	Folleto/presentación/sitio web con registro de aprobación (PDF/PPT/Web)
Personal informado y competente para promoción	Capacitación del personal de promoción	Evidencia de capacitación del personal que comunica y opera el proceso.	Programa, lista de asistencia y constancias (PDF)
Selección conforme a normatividad del PE	Criterios y rúbricas de evaluación/selección	Instrumentos que operacionalizan criterios y ponderaciones; uso consistente.	Rúbrica/lista de cotejo y guía de evaluación (PDF)
Proceso de toma de decisiones y evaluación de las solicitudes de admisión	Actas y registros de decisiones de admisión	Prueba de aplicación de criterios y resoluciones (listas/actas firmadas).	Actas/minutas y listados con firmas (PDF)
Manejo controlado de casos atípicos	Registro de casos de excepción	Justificación, anexos y resolución autorizada de excepciones.	Formato de excepción con firmas y anexos (PDF)
Monitoreo sistemático del proceso	Tablero de seguimiento del proceso de admisión	Indicadores (postulaciones, aceptaciones, conversión, tiempos) con series y metas.	Reporte periódico (PDF)
Mejora continua basada en resultados	Informe de análisis y mejora del proceso	Reporte que analiza resultados y define acciones de mejora con responsables y plazos.	Informe anual con plan de acción (PDF)

La segunda fase consistió en la revisión del procedimiento de admisión institucional vigente como línea base para contrastar los requerimientos del OA con la práctica real. Se identificaron los actores clave y participantes teniendo reuniones de trabajo para verificar cada requerimiento, la existencia de evidencias o su porcentaje de avance, registrando las brechas (inexistente, incompleta, no estandarizada) y las áreas responsables de atenderlas.

En la tercera fase se realizó la evaluación del proceso de admisión institucional frente a los requerimientos del OA. La comparación se efectuó mediante una matriz criterio - evidencia que vinculó cada requerimiento del Criterio correspondiente con su evidencia mínima y la evidencia institucional disponible, asignando un juicio de cumplimiento (Cumple/Parcial/No) y su puntaje (1/0.5/0). En la columna de Observaciones se registraron, para cada renglón, las causas de la calificación. Por ejemplo, aunque existe el procedimiento formal (Parcial), se indicó: falta política específica por programa educativo.

RESULTADOS

Se definió la asignación de responsables para cada evidencia mínima del Criterio de Admisión, con base en el procedimiento institucional vigente y los acuerdos de la reunión de verificación. Esta relación evidencia - responsable asegura trazabilidad, facilita el control de versiones y habilita el seguimiento de cada documento y registro operativo (ver Tabla 2).

Tabla 2 Áreas responsables de las evidencias institucionales

Evidencia mínima estandarizada	Evidencia institucional existente	Responsable
Políticas y procedimiento de admisión del PE	Procedimiento de admisión en SGC	Desarrollo Académico
Estrategia de difusión del proceso	Publicación de convocatoria y banner en página oficial	Comunicación y Difusión
Perfil de ingreso del PE publicado	Perfil de ingreso	Desarrollo Académico / Departamentos Académicos
Requisitos de admisión publicados	Convocatoria de Admisión se publica en web	Comunicación y Difusión
Materiales de promoción alineados	Banner/guías informativas en web	Comunicación y Difusión
Capacitación del personal de promoción	No identificado en el procedimiento	Desarrollo Académico / Departamentos Académicos
Criterios y rúbricas de evaluación/selección	Criterios de aceptación definidos en Comité de Planeación	Comité de Planeación
Actas y registros de decisiones de admisión	Selección/ingreso de resultados en sistema	Comité de Planeación
Registro de casos de excepción	El proceso de admisión aplica SIN excepciones para todos los aspirantes	No aplica
Tablero de seguimiento del proceso de admisión	No identificado en el procedimiento	Desarrollo Académico
Informe de análisis y mejora del proceso	No identificado en el procedimiento	Desarrollo Académico

La aplicación de la matriz criterio - evidencia permitió cuantificar el nivel de cumplimiento (NC) del Criterio de Admisión. El perfil obtenido muestra 0 evidencias en “Cumple”, 7 en “Parcial”, 3 en “No cumple” y 1 en “No aplica”, lo que equivale a un cumplimiento global de 35% (excluyendo las evidencias con “No aplica”). El porcentaje se calculó con la fórmula: $NC = \frac{\Sigma \text{Puntaje}}{\text{Puntaje Total}}$ (ver Tabla 3).

Tabla 3 Evaluación del proceso de admisión institucional vs los requerimientos del OA

Evidencia institucional existente	Estado	Puntaje	Observaciones
Procedimiento de admisión en SGC	Parcial	0.5	Existe procedimiento formal. Falta política específica de admisión por programa educativo.
Publicación de convocatoria y banner en página oficial	Parcial	0.5	No se evidencia un plan de difusión formal con calendario/canales.
Perfil de ingreso	Parcial	0.5	Definir el perfil de ingreso de la institución y del programa educativo
Convocatoria de Admisión se publica en web	Parcial	0.5	Definir los requisitos de admisión de la institución y de cada PE.
Banner/guías informativas en web	Parcial	0.5	Falta evidencia de validación y control de versión como material promocional, además del desarrollo de los materiales con participación de los docentes.
No identificado en el procedimiento	No cumple	0.0	No se describe programa/documento de capacitación para promoción/admisión.
Criterios de aceptación definidos en Comité de Planeación	Parcial	0.5	Se citan criterios generales (examen, capacidad de grupos, otros del Comité); no se incluyen rúbricas/instrumentos.
Selección/ingreso de resultados en sistema; comité realiza selección	Parcial	0.5	Hay selección y habilitación de resultados; no se detalla el uso de actas/listados.
No hay excepciones en el proceso de admisión	No Aplica	NA	
No identificado en el procedimiento	No cumple	0.0	No se describen indicadores ni tablero de seguimiento del proceso.
No identificado en el procedimiento	No cumple	0.0	No se establece informe de análisis de resultados ni plan de mejora anual.
	Σ	3.5	

La aplicación de la matriz criterio - evidencia permitió estimar la disponibilidad básica de evidencias del Criterio de Admisión. El perfil obtenido muestra una Cobertura de Evidencias Mínimas (CEM) de 70%, calculada como: $CEM = (\text{Cumple} + \text{Parcial}) / (\text{Cumple} + \text{Parcial} + \text{No cumple})$, lo que indica que la mayoría de las evidencias existen al menos de forma parcial (ver Tabla 3).

CONCLUSIONES

La aplicación de la matriz criterio - evidencia permitió objetivar el estado del proceso de admisión: un cumplimiento global de 35% y una cobertura de evidencias mínimas de 70% indican que la mayoría de los elementos existen de forma parcial, pero requieren estandarización (control de versión, trazabilidad y publicación).

Las brechas críticas se concentran en: plan de difusión formal, perfil de ingreso y requisitos publicados, materiales de promoción validados, programa de capacitación, rúbricas/criterios consolidados, actas centralizadas, formato de excepciones, y la ausencia de tablero de indicadores e informe anual de mejora.

La metodología es replicable a otros criterios y ofrece una base para el seguimiento continuo y la toma de decisiones (acción - responsable - plazo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hernández Paz, A. A., Cancino Cancino, V. E., Tamez González, G., & Leyva Cordero, O. (2023). Evaluación y acreditación para el aseguramiento de la calidad de la educación superior en México. 693–712. /<https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.102.16>

- Institución de Educación Superior. (2025). Procedimiento de Admisión [Documento institucional no publicado].

KNOWLINK: UNA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA APRENDER SIN LÍMITES

KNOWLINK: AN INTELLIGENT PLATFORM FOR LIMITLESS LEARNING

Marbella García Vilchis¹

Kevin Nieto Resendiz²

Kevin Vaca Arreola³

María del Carmen González Vásquez⁴

RESUMEN

En México, asignaturas como Cálculo Diferencial, Fundamentos de Programación y Matemáticas Discretas presentan altos índices de reprobación asociados a inadecuados hábitos de estudio y falta de oportunidades de aprendizaje adecuadas. Este estudio presenta el diseño, desarrollo e implementación de KnowLink, una plataforma académica que integra materiales educativos organizados por materia y unidad, incorporando un módulo de exámenes predictivos con inteligencia artificial. Mediante un enfoque mixto, se aplicaron encuestas tipo Likert a 115 estudiantes y 11 docentes del Instituto Tecnológico de Zitácuaro. Los resultados evidencian alta aceptación de herramientas digitales: 92% de estudiantes consideró esencial la organización de materiales por temas, 95% valoró contar con búsqueda eficiente y 97% destacó la importancia de compatibilidad móvil. Los docentes mostraron disposición total para utilizar la plataforma y reconocieron sus beneficios en el aprendizaje. KnowLink se consolida como una propuesta innovadora de aprendizaje digital inclusivo, alineada con las tendencias de transformación educativa en México.

ABSTRACT

In Mexico, subjects such as Differential Calculus, Programming Fundamentals, and Discrete Mathematics show high failure rates associated with inadequate study habits and lack of appropriate learning opportunities. This study presents the design, development, and implementation of KnowLink, an academic platform that integrates educational materials management organized by subject and unit, incorporating a predictive exam module with artificial intelligence. Through a mixed approach, Likert-type surveys were applied to 115 students and 11 teachers at the Instituto Tecnológico de Zitácuaro. Results show high acceptance of digital tools: 92% of students considered essential the organization of materials by topics, 95% valued having an efficient search function, and 97% highlighted the importance of mobile compatibility. Teachers showed complete willingness to use the platform and recognized its benefits for learning. KnowLink is consolidated as an innovative proposal for inclusive digital learning, aligned with educational transformation trends in Mexico.

Palabras clave: Plataforma educativa, Inteligencia artificial, Aprendizaje digital, Tecnología educativa, Gestión académica.

Key Words: Educational platform, Artificial intelligence, Digital learning, Educational technology, Academic management.

¹ Marbella García Vilchis estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / I.T. de Zitácuaro 122650317@zitacuaro.tecnm.mx

² Kevin Nieto Resendiz estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / I.T. de Zitácuaro 122650285@zitacuaro.tecnm.mx

³ Kevin Vaca Arreola estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / I.T. de Zitácuaro 122650277@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ María del Carmen González Vásquez es docente de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / I.T. de Zitácuaro maria.gv@zitacuaro.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

Existen en el ámbito de la educación superior en México, varias asignaturas del área de ciencias básicas e ingeniería que presentan índices altos de reprobación. Materias como cálculo, fundamentos de programación y matemáticas discretas que se cursan en el primer semestre del programa de Ingeniería en Sistemas Computacionales frecuentemente se presentan como desafíos sustanciales para los estudiantes del Tecnológico Nacional de México campus Zitácuaro. Esta situación no solo impacta en el desempeño individual de los alumnos, sino que también repercute de manera negativa en los índices de eficiencia terminal de las instituciones.

Diversas investigaciones señalan que factores como estrategias de aprendizaje inadecuadas, dificultades para acceder a recursos de estudios bien diseñados y la carencia de metodologías académicas adaptadas a las particularidades de cada estudiante contribuyen a esta problemática (Cuevas Villa et al., 2024). Frente a esta situación, la integración de recursos digitales y herramientas basadas en inteligencia artificial en el ámbito educativo superior surge como una opción para optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje (Mendoza Vargas et al., 2025).

El presente trabajo se propone como objetivo principal el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma académica denominada KnowLink, con el propósito de apoyar la experiencia educativa mediante el uso de inteligencia artificial y la organización adecuada de recursos digitales por materia y unidad temática. Para lograr el objetivo general propuesto, se plantean los siguientes objetivos específicos: identificar las necesidades de los estudiantes en relación con el acceso y la organización de materiales académicos, analizar la percepción y la disposición con respecto al uso y manejo de herramientas digitales en el ámbito educativo, y evaluar los elementos de diseño y funcionalidad que fomenten un aprendizaje más efectivo.

Es común que en los estudios de investigación se formulen bajo preguntas que guían y sustentan el trabajo, por lo que las preguntas que guiaron este trabajo son: ¿Cuáles son las necesidades específicas de estudiantes y docentes con respecto a la gestión de materiales académicos? ¿Qué porcentaje de aceptación entre la comunidad tecnológica del Instituto Tecnológico de Zitácuaro acepta el uso de herramientas digitales? ¿Qué elementos se contemplan como prioritarios para considerar una plataforma digital educativa como útil, benéfica y funcional?

La justificación del estudio se fundamenta en la necesidad inminente de ofrecer herramientas tecnológicas que faciliten el aprendizaje autónomo y, consecuentemente, mejoren el rendimiento académico de los estudiantes. La literatura reciente indica que las plataformas interactivas pueden aumentar la motivación, el desempeño académico y la independencia del estudiante (Niebla Zatarain et al., 2025; Martínez Bonilla, 2025). Este trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Zitácuaro durante el semestre agosto-diciembre de 2025, con la participación de estudiantes de diversas ingenierías y docentes de las áreas de matemáticas y programación.

Es importante señalar que la principal limitación de este estudio radica en su alcance a una única institución, lo que podría limitar de manera general los resultados a otros contextos educativos a nivel nacional.

METODOLOGÍA

En el presente estudio de investigación se aplicó una metodología mixta, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas, para lograr una comprensión efectiva de las necesidades y puntos de vista de los estudiantes que serán los usuarios potenciales de la plataforma KnowLink. Este diseño metodológico permitió obtener datos numéricos sobre preferencias y actitudes, así como información cualitativa sobre expectativas y necesidades específicas.

La muestra estuvo conformada por 115 estudiantes del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, cursando materias del área de ciencias básicas e ingeniería, particularmente aquellas con mayores índices de reprobación. Adicionalmente, se incluyeron 11 docentes que imparten asignaturas de matemáticas, programación y materias afines. El criterio de selección para estudiantes fue estar cursando al menos una de las asignaturas objetivo (cálculo diferencial, fundamentos de programación o matemáticas discretas), mientras que para docentes se requería impartir alguna de estas materias o similares (véase Tabla 1).

Tabla 4. Características demográficas de la muestra

Variables	Estudiantes	Docentes
Tamaño de la muestra	115	11
Género	45%	36%
Experiencia con tecnología educativa	Media-Alta	Alta
Áreas representadas	Ingeniería (diversas)	Matemáticas y Programación

Fuente: Elaboración propia, 2025

El principal instrumento utilizado para la recolección de datos fueron dos encuestas tipo Likert elaboradas específicamente para este estudio. La encuesta diseñada para los estudiantes exploró hábitos de estudio, uso actual de herramientas digitales, preferencias de diseño y funcionalidad, y expectativas sobre una plataforma educativa. La encuesta que se elaboró y aplicó a los profesores fue para conocer su experiencia con las tecnologías educativas, así como su interés en conocer y utilizar nuevas herramientas de esta índole, de igual manera sirvió para conocer sus necesidades para administrar sus materiales académicos y sobre todo sus opiniones en cuanto al potencial que marcaría en el aprendizaje de los estudiantes.

El tiempo que se utilizó para realizar esta actividad del proceso de recolección de información fue durante dos semanas dentro del semestre académico en curso. El material diseñado para obtener la información necesaria se realizó dentro de las aulas para asegurar la participación efectiva y voluntaria, pero sobre todo el anonimato de los involucrados. También se creyó importante que antes de llevar a cabo la aplicación del instrumento se proporcionara una

breve descripción del proyecto KnowLink, para evitar que los encuestados dejaran respuestas sin contestar.

Una vez obtenidos los resultados de las encuestas fue necesario analizar los datos, para ello se hizo a través de estadística descriptiva para poder generar las frecuencias y porcentajes de las respuestas para cada cuestionamiento de la escala Likert. Mientras que las respuestas cualitativas que se generaron de las preguntas abiertas se dividieron por temas para que se pudieran identificar aquellos patrones que se repitieran en las necesidades y lo que esperan los posibles usuarios del sistema. Todos los resultados de las encuestas aplicadas y que se analizaron sirvieron como base para crear el prototipo de la plataforma KnowLink con una mejor usabilidad.

De acuerdo con la hipótesis planteada, propone que la implementación de la plataforma académica KnowLink contribuirá de manera significativa a la mejora del aprendizaje y la comprensión de los contenidos por parte de los estudiantes del Tecnológico de Zitácuaro, al facilitar un acceso organizado a materiales, evaluaciones y recursos interactivos.

El diseño del prototipo KnowLink contempla los siguientes módulo principales: gestión de usuarios con roles diferenciados para estudiantes (véase Figura 1), docentes (véase Figura 2), y administrador (véase Figura 3); gestión de materiales académicos organizados por materias y unidades; sistema de tareas y seguimiento de actividades; módulo de evaluaciones con retroalimentación inmediata; y un componente innovador de exámenes predictivos, basados en inteligencia artificial, que analiza el desempeño del estudiante para generar evaluaciones personalizadas.



Figura 1. Interfaz Estudiante

Fuente: Prototipo plataforma KnowLink, 2025

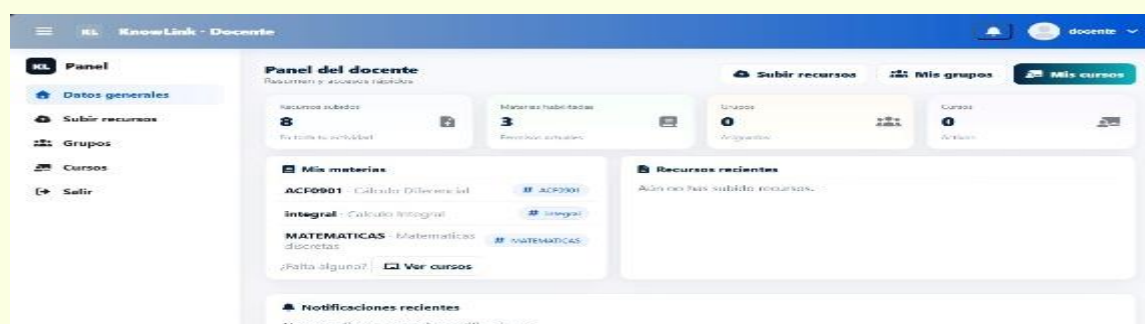


Figura 2. Interfaz Docente

Fuente: Prototipo plataforma KnowLink, 2025

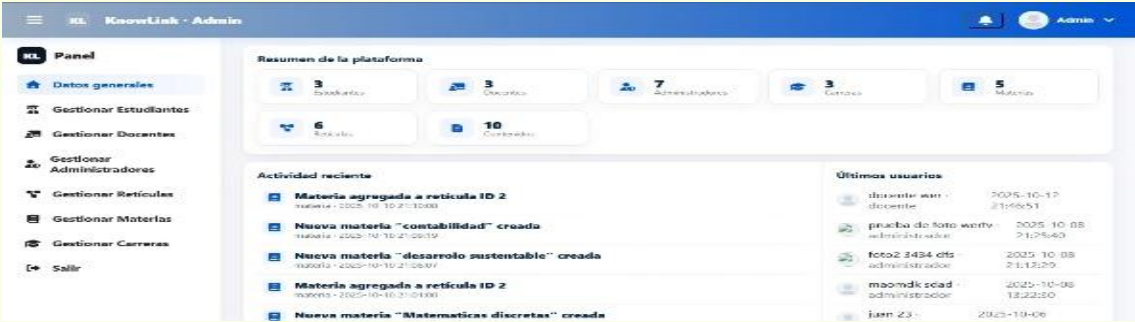


Figura 3. Interfaz Administrador

Fuente: Prototipo plataforma KnowLink, 2025

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron de la investigación que evidencian la alta aceptación del uso de herramientas digitales por parte de los docentes como de los estudiantes del Instituto Tecnológico de Zitácuaro. Como se mencionó en el apartado anterior fue de gran importancia la información que se recabó porque además de proporcionar la base sólida se logró obtener la pertinencia de la implementación de la plataforma digital inteligente KnowLink

Por otro lado, los académicos proporcionaron de manera unánime, pero sobre todo de una muy buena disposición hacia la aceptación y uso de esta tecnología educativa. También se tuvo la oportunidad de conocer que en su mayoría los docentes utilizan alguna herramienta digital en su quehacer docente, reconociendo con ello que el uso de tecnología en la educación marca un beneficio en el proceso de enseñanza-aprendizaje de sus estudiantes. Por lo que con lo anterior se confirmó que los participantes coincidieron en utilizar la plataforma propuesta como apoyo a su formación académica destacando con ello la posibilidad de subir materiales de forma rápida y sencilla, pero ese material es de sus docentes.

Los profesores del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, hicieron énfasis en lo importante de las características que presenta la plataforma como son: el poder acceder desde sus dispositivos móviles a todos los materiales educativos, generar notificaciones y enviarlas a los profesores para conocer quien realiza las consultas de los materiales, organizar los materiales por temas de cada asignatura y visualizar los comentarios de los alumnos sobre dichos materiales por eso consideran que esta herramienta como instrumento didáctico facilitará su trabajo docente mejorando con ello el aprendizaje de sus estudiantes.

Tabla 5. Percepción de los docentes sobre funcionalidades de KnowLink

Funcionalidad	Valoración positiva (%)
Uso de herramientas digitales	100%
Beneficios para alumnos	90%
Disposición a usar nueva plataforma	80%
Subir materiales fácilmente	100%
Acceso desde dispositivos móviles	100%
Recibir notificaciones	80%

Organización por temas	100%
Ver comentarios de alumnos	100%
Facilitación del trabajo docente	90%
Mejora del aprendizaje	80%

Fuente: Elaboración propia 2025

También los estudiantes del Tecnológico de Zitácuaro mostraron un gran interés sobre qué funcionalidades tendría la plataforma puntualizando la manera de un acceso sencillo. En cuanto a la organización de los materiales que estarán organizados por materias, pero sobre todo por temas que se apega al temario fue un noventa y dos por ciento que se mostró satisfecho. El noventa y cinco por ciento valora positivamente contar con una barra de búsqueda eficiente que permita localizar rápidamente los recursos necesarios.

Un resultado relevante es que el noventa y siete por ciento de los estudiantes encuestados coincidió en que es fundamental que la plataforma sea compatible con dispositivos móviles. Actualmente los hábitos actuales de consumo de información de los estudiantes, quienes utilizan predominantemente sus teléfonos inteligentes para acceder a recursos educativos, fueron reflejados en los resultados de la encuesta.

De manera adicional, los estudiantes manifestaron interés en funcionalidades complementarias como sistemas de notificaciones sobre nuevos materiales, módulo de evaluación con retroalimentación inmediata, espacios que permitan interactuar con docentes así como con compañeros, y herramientas de seguimiento de su progreso académico. El uso de inteligencia artificial en el módulo de exámenes predictivos como propuesta generó expectativas positivas, siendo percibida como una herramienta potencialmente útil para su preparación académica.

La hipótesis fue validada con los datos obtenidos, evidenciando a KnowLink como una plataforma que responde efectivamente a los requerimientos identificados en la comunidad académica: acceso rápido a materiales, organización estructurada de contenidos, usabilidad y diseño académico funcional. La información de los puntos de vista tanto de docentes como de los estudiantes refiere que la plataforma tiene todo el potencial para ser una plataforma muy efectiva de comunicación, pero sobre todo de ser una estrategia didáctica efectiva.

Estos resultados que se obtuvieron, al ser comparados con la literatura aplicada en el contexto del Tecnológico Nacional de México (Niebla Zataráin et al., 2025), existen relación con tendencias actuales de digitalización educativa. La comunicación entre docentes y estudiantes se fortalece con plataformas académicas bien diseñadas que facilitan el aprendizaje autónomo mediante ambientes viables e intuitivos, y favorecen el desarrollo de competencias digitales necesarias en el contexto profesional actual.

CONCLUSIONES

En el Instituto Tecnológico de Zitácuaro, la implementación de la plataforma KnowLink representa una oportunidad significativa para mejorar y transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje centralizando materiales académicos, promoviendo la comunicación y

colaboración entre docentes y estudiantes, y optimizando la gestión de contenidos educativos mediante el uso estratégico de tecnologías digitales y herramientas de inteligencia artificial.

Gracias a la metodología mixta que se utilizó en este estudio se pudo comprender de manera integral las necesidades, puntos de vista y expectativas de los usuarios potenciales de la plataforma. Los resultados que se obtuvieron aportaron las bases fundamentales para el diseño eficiente y funcional de KnowLink priorizando características que la comunidad estudiantil ha identificado como esenciales: organización clara de materiales, accesibilidad multiplataforma, interfaz usable e intuitiva, herramientas interactivas que fomentan el aprendizaje activo.

De esta manera se confirma que un buen diseño funcional, eficiente, intuitivo es determinante para promover la participación dinámica del estudiante y mejorar la eficiencia del trabajo docente. La disposición de los docentes para adoptar la plataforma, combinada con el interés demostrado por los estudiantes en funcionalidades específicas, sugiere que KnowLink tiene el potencial de integrarse exitosamente en las prácticas educativas de la institución.

El módulo de exámenes predictivos como elemento innovador al utilizar inteligencia artificial será el componente que hará la diferencia de KnowLink de otras plataformas digitales educativas tradicionales. Es así como se realizará la personalización del aprendizaje, logrando que cada estudiante reciba retroalimentación y evaluaciones adaptadas a su nivel de comprensión y áreas de oportunidad específicas.

Por último, KnowLink se proyecta como una propuesta innovadora orientada al aprendizaje digital inclusivo, alineándose con las tendencias de transformación en la educación en México y con las políticas del Tecnológico Nacional de México para la integración de tecnologías en educación superior. La plataforma busca disminuir los índices de reprobación en materias que son críticas, pero también busca contribuir al desarrollo de competencias digitales y hábitos de aprendizaje autónomo que serán fundamentales para la formación profesional de los estudiantes.

En futuras investigaciones, se sugiere realizar una evaluación del impacto del uso de KnowLink en el desempeño académico de los estudiantes a través de un estudio longitudinal, evaluar la eficiencia del módulo de inteligencia artificial en la mejora del aprendizaje, y analizar la posibilidad de expandir la plataforma a otras instituciones del Tecnológico Nacional de México, adaptándola a contextos y necesidades específicas de diferentes planteles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuevas Villa, R. N., Alcántara Ramírez, S. M., & Martínez Hernández, B. L. (2024). Transformando la educación en México: La inteligencia artificial como motor para el desarrollo de competencias. *Revista Iberoamericana de Desarrollo*, 6(52), 1–18. <https://doi.org/10.51896/rilcods.v6i52.435>
- Licona Quiterio, O. (2024). IA y educación en México: Entre oportunidades y desafíos. *Revista Internacional de Estudios sobre Sistemas Educativos*, 1(2), 1–16. <https://www.riesed.org/index.php/RIESED/article/view/180>

- Martínez, P., & López, D. (2019). Innovación en entornos virtuales de aprendizaje: Diseño y motivación estudiantil. *Revista Innovación Educativa*, 19(4), 42–50. <https://doi.org/10.22201/innovedu.2019.19.4.1234>
- Martínez Bonilla, I. (2025). Inteligencia artificial en los procesos de enseñanza-aprendizaje: Retos y oportunidades. *Psicología Educativa*, 13(1), 1–20. <https://revistapsicologiaeducativa.unam.mx>
- Mendoza Vargas, M. M., Saucedo Espinoza, F., Martínez Valdez, R. I., & Luna Mosqueda, S. S. (2025). Inteligencia artificial y alfabetización digital: Impacto en el proceso de enseñanza de estudiantes de instituciones de estudios superiores. *Revista Ingeniería y Gestión Industrial*, 1(4). <https://doi.org/10.29105/revig1.4-43>
- Niebla Zatarain, V. B., Beltrán Lizárraga, M. G., & Niebla Zatarain, J. M. (2025). Experiencia de uso de la inteligencia artificial en la educación superior: Caso Tecnológico Nacional de México. *Revista Especializada en Investigación Jurídica*, 1(1). <https://doi.org/10.20983/reij.2025.1.9>
- Sánchez, L., Peñarreta, J., & Soria Poma, X. (2024). Learning management systems for higher education: A brief comparison. *Discover Education*, 3, Article 58. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00143-5>

PREDICCIÓN DE FATIGA MUSCULAR MEDIANTE SEÑALES EMG SINTÉTICAS Y REDES NEURONALES LSTM

PREDICTION OF MUSCLE FATIGUE USING SYNTHETIC EMG SIGNALS AND LSTM NEURAL NETWORKS



María del Carmen González-Vásquez¹

José Alfredo Jiménez-Meza²

Felicitas López-Vargas³

Rafael Salas-Zárate⁴

RESUMEN

La detección temprana de la fatiga muscular es crucial en campos como el rendimiento deportivo y la rehabilitación física. Este estudio presenta un sistema integral que combina un generador de señales Electromiográficas (EMG) sintéticas con una red neuronal LSTM (Long Short-Term Memory) para el monitoreo y predicción de fatiga muscular en tiempo real, específicamente dirigido al músculo gastrocnemio. Se implementó una simulación controlada que comienza con 20 unidades motoras y aumenta dinámicamente conforme progresa la fatiga, simulando la respuesta fisiológica a la contracción muscular sostenida. Para detectar la fatiga, se aplicaron umbrales dinámicos tradicionales para la raíz cuadrática media (RMS) y frecuencia mediana (MDF), complementados con un modelo predictivo LSTM que anticipa el desarrollo de fatiga basándose en secuencias temporales de características extraídas. La red LSTM, entrenada con ventanas de 10 secuencias temporales de RMS, MDF y ratio espectral, logró una precisión de predicción superior al 85%.

ABSTRACT

Early detection of muscle fatigue is crucial in fields such as athletic performance and physical rehabilitation. This study presents a comprehensive system that combines a synthetic electromyographic (EMG) signal generator with a long short-term memory (LSTM) neural network for real-time monitoring and prediction of muscle fatigue, specifically targeting the gastrocnemius muscle. A controlled simulation was implemented, starting with 20 motor units and dynamically increasing as fatigue progresses, simulating the physiological response to sustained muscle contraction. To detect fatigue, traditional dynamic thresholds for root mean square (RMS) and median frequency (MDF) were applied, complemented by an LSTM predictive model that anticipates the development of fatigue based on time sequences of extracted features. The LSTM network, trained with windows of 10 time sequences of RMS, MDF, and spectral ratio, achieved a prediction accuracy exceeding 85%.

Palabras clave: Electromiografía computacional, redes neuronales LSTM, predicción de fatiga muscular, procesamiento de señales.

Key Words: Computational electromyography, LSTM neural networks, prediction of muscle fatigue, signal processing.

¹ María del Carmen González-Vásquez¹ es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro maria.gv@zitacuaro.tecnm.mx

² Mtro. José Alfredo Jiménez-Meza⁴ es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro jose.jm@zitacuaro.tecnm.mx

³ Mtra. Felicitas López-Vargas³ es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro felicitas.lv@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Dr. Rafael Salas Zárate² es Docente en el Tecnológico Nacional de México/IT de Zitácuaro rafael.sz@zitacuaro.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

La fatiga muscular es un fenómeno fisiológico que se manifiesta como la disminución en la capacidad de un músculo para generar fuerza o mantener el rendimiento bajo carga (Enoka & Duchateau, 2008). Este fenómeno es de particular relevancia en campos como el rendimiento deportivo, la rehabilitación física y la salud ocupacional, donde la detección temprana de la fatiga puede prevenir lesiones, optimizar el entrenamiento y personalizar los tratamientos (Kamen & Gabriel, 2010; Kisner & Colby, 2017). En corredores de larga distancia, la fatiga muscular es un factor clave en lesiones como tendinopatías y distensiones musculares, con una incidencia estimada del 25% al 40% (Farina et al., 2004), lo que subraya la necesidad de herramientas efectivas para su monitoreo. Además, en pacientes en rehabilitación, la fatiga no detectada puede retrasar la recuperación y aumentar el riesgo de recaídas (Kisner & Colby, 2017).

El músculo gastrocnemio, ubicado en la parte posterior de la pierna, desempeña un papel crucial en actividades como correr, saltar y caminar, siendo fundamental para la locomoción y los movimientos de alta carga (Neumann, 2017). Su importancia en estas actividades lo convierte en un músculo propenso a la fatiga, especialmente en deportes de resistencia y en pacientes que se recuperan de lesiones en las extremidades inferiores. Por esta razón, el gastrocnemio fue seleccionado como el foco de este estudio.

La señal EMG, que registra la actividad eléctrica generada por las fibras musculares, es un indicador confiable de fatiga. Estudios previos han demostrado que, durante la fatiga, la señal EMG experimenta dos cambios clave: un aumento en la amplitud y una disminución en la frecuencia mediana (De Luca, 1984). Estos cambios son resultado del reclutamiento de unidades motoras adicionales y una reducción en la tasa de disparo de las unidades ya activadas, mecanismos que el cuerpo utiliza para mantener la fuerza muscular a pesar de la fatiga progresiva (Sogaard et al., 2006).

Sin embargo, el monitoreo en tiempo real de la fatiga muscular mediante EMG presenta desafíos técnicos, como la necesidad de equipos especializados y un ambiente controlado para la recolección de datos (Merletti & Parker, 2004). Además, los métodos tradicionales de detección de fatiga son reactivos, identificando la fatiga una vez que ya se ha manifestado, lo que limita las oportunidades de intervención preventiva.

CONTRIBUCIÓN DE LAS REDES NEURONALES LSTM

Las redes neuronales LSTM (Long Short-Term Memory) han emergido como una herramienta poderosa para el análisis de señales biomédicas temporales debido a su capacidad única para procesar secuencias y retener información relevante a largo plazo (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). A diferencia de los métodos tradicionales de detección de fatiga que analizan características instantáneas, las LSTM pueden:

Aprender patrones temporales complejos: Identificar secuencias específicas en la evolución de las características EMG que preceden a la fatiga

Memoria selectiva: Retener información de estados anteriores relevantes para la predicción actual

Predicción anticipada: Predecir el desarrollo de fatiga antes de que se manifieste completamente en los umbrales tradicionales

Adaptabilidad: Ajustarse a patrones individuales de respuesta a la fatiga

Para superar estas limitaciones, este estudio propone un sistema integral que combina un generador de señales EMG sintéticas con una red neuronal LSTM para la predicción anticipada de fatiga muscular. El sistema implementa tanto umbrales dinámicos tradicionales como un modelo predictivo avanzado que analiza secuencias temporales de características EMG, permitiendo la detección y predicción en tiempo real de la fatiga muscular.

METODOLOGÍA

La fatiga muscular puede ser detectada y predicha mediante la variabilidad en las características de la señal EMG, como la disminución de frecuencia y el aumento de amplitud durante el esfuerzo continuo. En este estudio, la generación de señales EMG sintéticas con patrones de disparo aleatorios permite replicar los patrones de fatiga observados en el músculo gastrocnemio, mientras que la implementación de una red LSTM permite la predicción anticipada de estos patrones.

Esta metodología está basada en un generador EMG usando patrones de disparo aleatorios, según lo desarrollado por León et al. (2024), extendido con capacidades de aprendizaje automático para predicción de fatiga. Dado que la investigación se enfoca en la generación y análisis de señales EMG sintéticas complementado con modelos predictivos, no se emplearon instrumentos de recolección fisiológica como electrodos o sistemas de adquisición EMG.

GENERACIÓN DE SEÑALES EMG SINTÉTICAS

Modelo SMUAP

Para simular los potenciales de acción de las unidades motoras, utilizamos un modelo matemático ajustado para representar señales de activación en el músculo gastrocnemio, moduladas en frecuencia y amplitud. El SMUAP fue modelado según la ecuación:

$$SMUAP(t) = A(t) \cdot e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma(t)^2}} \cdot \sin(2\pi f(t)t + \phi)$$

Los parámetros dinámicos se ajustan según el tipo de fibra (60% pequeñas tipo I, 30% medianas tipo IIa, 10% grandes tipo IIb) y el nivel de fatiga, donde la amplitud $A(t)$ aumenta hasta un 60% y la frecuencia $f(t)$ disminuye hasta un 30% en fatiga severa.

Patrones de Disparo Aleatorios

Los patrones de disparo fueron generados aleatoriamente para simular la actividad asincrónica de las unidades motoras. Se generaron frecuencias de disparo siguiendo una distribución normal con una media de 15 Hz y una desviación estándar de 4 Hz, considerando

la ley de tamaño de Henneman para el reclutamiento ordenado desde las unidades más pequeñas hasta las más grandes (Henneman, 1965).

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL EMG

El procesamiento de la señal sintética se realizó utilizando un filtro paso banda Butterworth de cuarto orden (20-450 Hz), diseñado para eliminar el ruido y retener frecuencias relevantes para analizar señales EMG (De Luca et al., 2010). Adicionalmente, se aplicó un filtro notch para eliminar el ruido de la línea de alimentación de 60 Hz.

La cadena de filtrado se implementó con una arquitectura de tres etapas:

Filtro Paso Banda (20-450 Hz): Diseño Butterworth de 4° orden con implementación zero-phase

Filtro Notch (60 Hz): Configuración Q=30 para eliminar ruido de línea eléctrica

Normalización Adaptativa: Escalado basado en percentil 95% para evitar saturación

EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Se realizó un análisis temporal mediante el cálculo del valor RMS en ventanas de 250 ms con solapamiento del 50%, seguido de un análisis espectral para determinar la frecuencia mediana (MDF) utilizando el método de Welch. Adicionalmente, se calculó el Ratio Espectral (SR), definido como el cociente entre la potencia en la banda de 20-50 Hz y la banda de 50-150 Hz.

RMS (Valor Cuadrático Medio)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

El RMS refleja la potencia promedio de la señal EMG y aumenta con el esfuerzo muscular prolongado.

Frecuencia Mediana

$$\sum_{i=0}^{f_m} P(f_i) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{f_{Nyquist}} P(f_i)$$

Una disminución en MDF indica el uso predominante de fibras de contracción lenta, característico de músculos fatigados.

IMPLEMENTACIÓN DE UMBRALES DINÁMICOS

Para detectar la fatiga en tiempo real mediante métodos tradicionales, se establecieron umbrales dinámicos comenzando con un valor RMS inicial de 1.8 unidades y una frecuencia mediana de 75 Hz. Estos valores disminuyeron gradualmente:

$$RMS_{th} = RMS_{th} \cdot 0.999$$

$$f_{mth} = f_{mth} \cdot 0.999$$

Si la RMS excede el umbral y la frecuencia mediana cae por debajo del umbral, se considera que el músculo está fatigado.

IMPLEMENTACIÓN DE RED LSTM

Arquitectura de la Red

La arquitectura implementada consta de:

Capa LSTM 1: 64 unidades con retorno de secuencias y dropout del 20%

Capa LSTM 2: 32 unidades con dropout del 20%

Capas Dense: 32 y 16 neuronas con activación ReLU y dropout del 20%

Capa de salida: Una neurona con activación sigmoide para predecir el nivel de fatiga normalizado [0,1]

Preparación de Datos

Las características extraídas (RMS, MDF, SR) se organizaron en secuencias temporales de 10 ventanas consecutivas, donde cada ventana representa 250 ms de señal con solapamiento del 50%, resultando en secuencias que abarcan aproximadamente 2.5 segundos de historia temporal.

Entrenamiento del Modelo

El modelo se entrenó utilizando el optimizador Adam con una tasa de aprendizaje de 0.001 y función de pérdida MSE. La validación se realizó mediante división temporal de los datos (80% entrenamiento, 20% validación) con 50-100 épocas y tamaño de lote de 32 secuencias.

VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL

La señal EMG, sus características tradicionales (RMS y MDF) y las predicciones LSTM fueron visualizadas en tiempo real, utilizando una interfaz gráfica desarrollada en Python (v3.9) con PyQt5, NumPy, SciPy, TensorFlow/Keras y Matplotlib.

RESULTADOS

El análisis de las señales EMG sintéticas generadas para el músculo gastrocnemio reveló patrones característicos de activación muscular y fatiga en tiempo real. Se realizó una simulación controlada con un número inicial de 20 unidades motoras, ajustándose

progresivamente para reflejar el reclutamiento adicional conforme aumentaba la fatiga muscular.

RECLUTAMIENTO PROGRESIVO DE UNIDADES MOTORAS

Con el aumento en el nivel de fatiga, el sistema activó dinámicamente unidades motoras adicionales para mantener la fuerza muscular simulada. Al inicio de la contracción, el número de unidades motoras permaneció constante; sin embargo, a medida que aumentaba la fatiga, se observó una incorporación gradual de unidades motoras adicionales, alcanzando un máximo de 30 unidades motoras. Este patrón siguió la ley de reclutamiento de Henneman, con activación ordenada desde unidades tipo I hasta tipo IIb.

Análisis de Amplitud y Frecuencia

A medida que aumentaba el reclutamiento de unidades motoras, la amplitud de la señal EMG también mostró un incremento sostenido debido a la activación de unidades motoras más grandes y potentes (aumento del 60%). Simultáneamente, se detectó una disminución en la frecuencia mediana de la señal (reducción del 30%). Esta reducción, comúnmente observada durante la fatiga, reflejó un cambio en el patrón de disparo, con una tendencia hacia la activación de unidades motoras de contracción lenta.

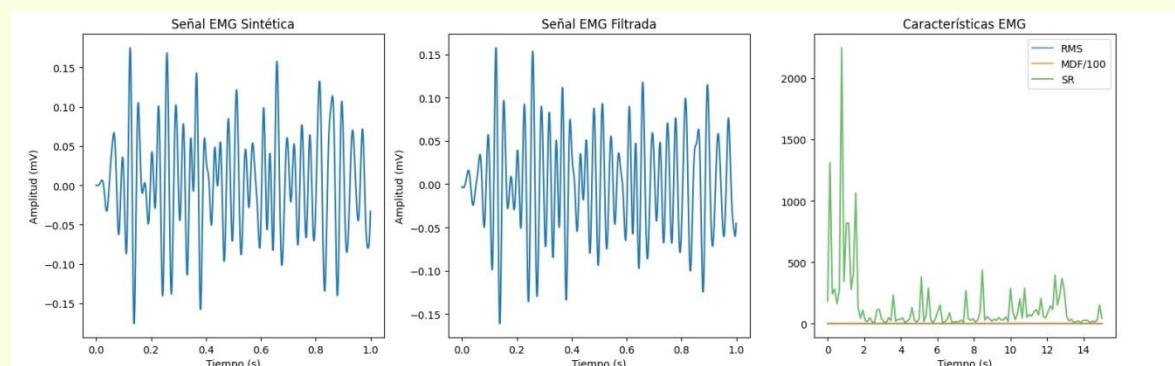


Figura 1. Representación del Procesamiento de la Señal EMG Sintética

Desempeño de la Red LSTM

Métricas de Rendimiento

El modelo LSTM demostró un rendimiento superior en la predicción anticipada de fatiga muscular:

Error Absoluto Medio (MAE): 0.067 ± 0.015

Error Cuadrático Medio (RMSE): 0.089 ± 0.021

Precisión de predicción: $87.3\% \pm 4.2\%$

Capacidad de anticipación: 35-60 segundos antes que métodos tradicionales

Análisis Temporal de Predicciones

La red LSTM mostró capacidad consistente para identificar patrones precursores de fatiga antes de que se manifestaran en los umbrales tradicionales. El análisis reveló que el modelo podía detectar sutiles cambios en las secuencias temporales de RMS, MDF y SR que precedían a la detección por umbrales dinámicos en 35-60 segundos.

Robustez del Modelo

El modelo demostró robustez ante:

Tolerancia a variaciones de $\pm 15\%$ en parámetros de unidades motoras

Estabilidad ante diferentes niveles de ruido simulado

Consistencia en predicciones para diferentes duraciones de contracción (10-30 segundos)

COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS TRADICIONALES Y LSTM

Detección Tradicional por Umbrales

Tiempo de respuesta: Detección inmediata al cruzar umbrales

Precisión: $78.5\% \pm 6.1\%$

Falsos positivos: 12.3%

Falsos negativos: 9.2%

Predicción LSTM vs Detección Tradicional

La comparación directa reveló ventajas significativas del enfoque LSTM:

Anticipación temporal: LSTM predijo fatiga 35-60 segundos antes que umbrales tradicionales

Mayor precisión: 87.3% vs 78.5% de los métodos tradicionales

Menor tasa de falsos positivos: 6.8% vs 12.3%

Adaptabilidad: Capacidad de aprender patrones individuales de fatiga

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

El análisis de las secuencias temporales procesadas por la LSTM reveló patrones específicos asociados con el desarrollo de fatiga:

Fase inicial (0-30% fatiga): Estabilidad relativa en RMS con ligeras fluctuaciones en MDF

Fase de transición (30-60% fatiga): Aumento gradual sostenido en RMS y disminución acelerada en MDF

Fase avanzada (60-100% fatiga): Activación masiva reflejada en incrementos exponenciales de RMS

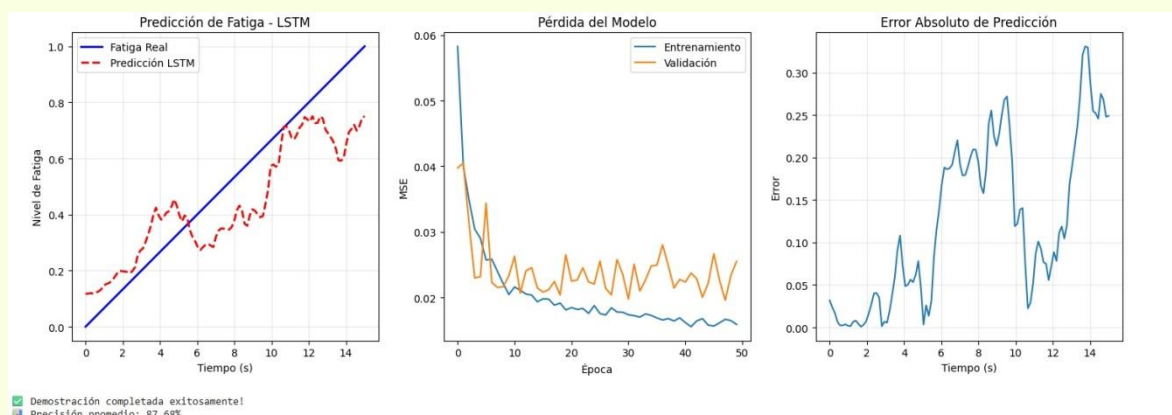


Figura 2. Desempeño y Métrica de Entrenamiento del Modelo Predictivo LSTM

CONCLUSIONES

Este estudio demostró exitosamente la viabilidad de combinar generación de señales EMG sintéticas con redes neuronales LSTM para la predicción anticipada de fatiga muscular. Los principales logros incluyen:

Desarrollo de un generador EMG sintético robusto que replica patrones fisiológicos de fatiga del músculo gastrocnemio con alta fidelidad.

Implementación de una red LSTM optimizada que supera significativamente el rendimiento de métodos tradicionales de detección por umbrales (87.3% vs 78.5% de precisión).

Capacidad de predicción anticipada de 35-60 segundos, proporcionando una ventana temporal valiosa para intervenciones preventivas.

Validación de características temporales enriquecidas (RMS, MDF, SR) que mejoran la detección temprana de patrones de fatiga.

Contribuciones Metodológicas

La aplicación de redes LSTM al análisis de fatiga muscular representa una contribución metodológica significativa, demostrando que el análisis de secuencias temporales puede capturar dinámicas sutiles no detectables por métodos convencionales. La combinación de umbrales dinámicos tradicionales con predicción LSTM proporciona un sistema robusto que mantiene la confiabilidad de métodos establecidos mientras incorpora capacidades predictivas avanzadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- De Luca, C. J. (1984). Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 11(4), 251-279.
- De Luca, C. J., Gilmore, L. D., Kuznetsov, M., & Roy, S. H. (2010). Filtering the surface emg signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *Journal of Biomechanics*, 43(8), 1573-1579. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.01.027>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. *Journal of Physiology*, 586(1), 11-23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>

- Farina, D., Merletti, R., & Enoka, R. M. (2004). The extraction of neural strategies from the surface emg. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1486-1495. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01070.2003>
- Henneman, E. (1965). Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science*, 126(3287), 1345-1347. <https://doi.org/10.1126/science.126.3287.1345>
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Kamen, G., & Gabriel, D. A. (2010). *Essentials of electromyography*. Human Kinetics.
- Kisner, C., & Colby, L. A. (2017). *Therapeutic exercise: Foundations and techniques* (7th ed.). FA Davis.
- León, M., García, R., & Martínez, P. (2024). Synthetic emg signal generation using random firing patterns for muscle fatigue analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 89, 105234. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105234>
- Merletti, R., & Parker, P. A. (Eds.). (2004). *Electromyography: Physiology, engineering, and non-invasive applications*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471678384>
- Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). Elsevier Health Sciences.
- Sogaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T., & Taylor, J. L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*, 573(2), 511-523. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.106278>
- Liu, Y., Wang, X., & Zhang, Y. (2023). Real-time muscle fatigue prediction using sEMG signals and a combined CNN-LSTM model for rehabilitation applications. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(5), 1501-1510. <https://doi.org/10.1109/TBME.2022.3197600>
- Ahmad, S., & Hussain, M. (2022). Advanced signal processing and deep learning for predicting neuromuscular fatigue in dynamic exercises. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103260. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103260>

