



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Ava Cient

ISSN: 2992-8567

Instituto Tecnológico de Chetumal

Formación Integral, Científica, Tecnológica y Humanista

2024

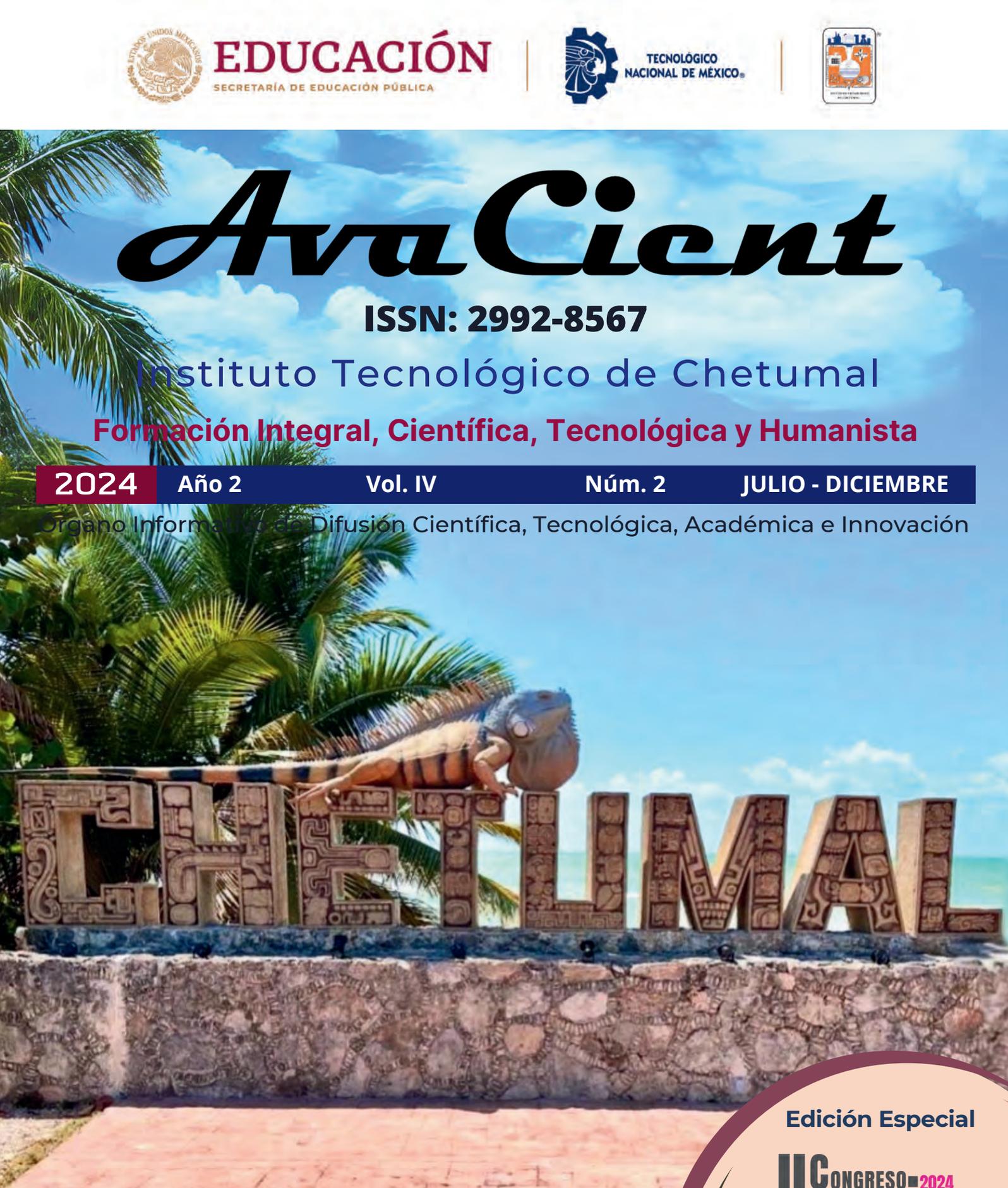
Año 2

Vol. IV

Núm. 2

JULIO - DICIEMBRE

Órgano Informativo de Difusión Científica, Tecnológica, Académica e Innovación



Edición Especial

II CONGRESO 2024
INTERDISCIPLINARIO



Indizado en:



Internet web



Enfoque y alcance:

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

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

La Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2023-052309402000-102. Con ISSN electrónico 2992-8567. Frecuencia de publicación: semestral. Los artículos se publican en idioma español o en inglés.

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

Políticas de selección:

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

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

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

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

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

Para mayores detalles y especificaciones, consultar la **guía para autores 2024**.

Proceso de revisión:

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

Tiempo estimado para la evaluación:

Con el objetivo de garantizar un correcto y riguroso proceso de evaluación en cada una de sus fases, se estima un promedio de entrega de dictámenes de 60 días. Se garantiza una comunicación constante y asertiva sobre el envío y avances del proceso editorial. El porcentaje de artículos publicados para 2024 es del 40%.

AvaCient

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

Indización:

AvaCient, cuenta con los siguientes índices:



Código de ética:

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

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

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

Política de acceso abierto:

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

Contacto:

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

Disponible en Internet:

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



Directorio

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

Consejo Editorial

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

AVACIENT, Año 2, Vol. IV, Núm. 2, julio - diciembre 2024, es una publicación semestral, editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Chetumal, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Contacto: 9838322330, avacient@chetumal.tecnm.mx, <http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista> Editor Responsable: Robert Beltrán López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-052309402000-102, ISSN: 2992-8567, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Comunicación y Difusión, José Luis Moctezuma Tejeda, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Fecha de última modificación 14 de octubre de 2024.

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

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

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

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

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

AvaCient es una revista científica arbitrada, indizada, multidisciplinaria.

Soporte técnico OJS: Dr. José Luis Moctezuma Tejeda. Cel. 2291521713. jmoctezuma@itchetumal.edu.mx
Corrección y Estilo: Maestrante Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver, Dra. Blanca Verónica Moreno García.
Créditos de la foto de portada y contraportada: Mtra. Laura Isabel Guarneros Urbina.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas

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

Responsabilidades del Comité Editorial

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

Responsabilidades del Editor

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

Responsabilidades de los autores

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

Responsabilidades de los revisores

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

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

Tabla de contenido

Presentación de la revista.

Directorio y cintillo.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas.

Comité Editorial Científico.

Sistemas socioecológicos: Elementos teóricos y conceptuales en la restauración de paisajes degradados.	1
José G. Chan Quijano. Lucía Sanaphre Villanueva.	
Control industrial de un motor a pasos usando tecnología frugal.	11
Omar Trejoluna-Hernández. Felipe de Jesús Torres del Carmen. Ma. Concepción Alvarado. Miroslava Cano-Lara. Israel Martínez Ramírez.	
La huella ecológica en los destinos turísticos de Quintana Roo: Razón para fomentar el turismo comunitario.	22
Crucita Aurora Ken Rodríguez. Daniel Vargas García.	
Aplicación de fotogrametría con drones y modelación de inundaciones para la planificación urbana en Chetumal.	37
Cristina Candelaria Valle Queb. Juan Carlos Alcérreca Huerta. Gabriela Rosas Correa. Anita Martínez Méndez. Joan Alberto Sánchez Sánchez.	
Análisis y visualización de percepciones de alumnos de ingeniería informática sobre competencias genéricas.	49
Pablo Lázaro Hernández. Liliana Suárez Téllez.	



COMITÉ EDITORIAL CIENTÍFICO

Dr. Rigoberto Rosas Luis
Dr. Eustacio Díaz Rodríguez
Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo I
Dr. Leopoldo Querubín Cutz Pool
Dra. Herlinda del Socorro Silva Poot
Dra. Corina Santana Duarte
Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar
Dra. Mayra Polett Gurrola
Dr. Julio César Cruz Argüello
Dra. Claudia González Salvatierra
Dra. María Elena Sánchez Gutiérrez
Dra. Maritza Chan Juárez
Dr. José Esteban Hernández Gutiérrez
Dr. Pedro Leobardo Jiménez Sánchez
Dr. Oscar Frausto Martínez
Dra. María Elena Torres Pérez
Dra. María Angélica González Vera
Dr. Ángel Aarón Rosado Varela
DCA. Aremy del Pilar Basto Cabrera
Dra. Blanca Verónica Moreno García
Dra. Alva Rosaura Manzanero Gutiérrez
Dra. Blandy Berenice Pamplona Solís
Dra. Jani Jarquín González
Dr. José Manuel Castro Pérez
Dra. Delia Xochilt Vega Manríquez
Dra. Josefina Aguilar Leo
Dr. Juan Esteban Hernández Gutiérrez
Dr. Isaías May Canche
M.C. María Antonia de los Ángeles Díaz Martín
M. Deysi de Rocío Espinoza Crisanto
M. en Pl. Gerardo Daniel López Montejo
M.C. Isaias May Canche
M.C. Laura del Carmen Garrido López
M.C. Carlos Andrés Ramírez Pinto
Lic. Jorge Armando López Chan



SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS: ELEMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES EN LA RESTAURACIÓN DE PAISAJES DEGRADADOS

José G. Chan Quijano^{1*}, Lucía Sanaphre Villanueva²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 30/06/2024 Aceptado: 07/07/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a2>

Resumen.- La restauración es un objetivo de conservación, pero en los sistemas forestales, el proceso es largo y lento, basado en el crecimiento de los árboles. Por otro lado, se está viviendo en el antropoceno y la predicción del cambio ambiental es rápida en comparación con los plazos de restauración de zonas degradadas. El objetivo de esta investigación fue describir los elementos teóricos y conceptuales para la restauración de paisajes degradados. Para ello, se empleó un método descriptivo-analítico con una sistematización de la información y bibliográfico. Además, se aplicó el *ad libitum* para generar mapas conceptuales de los aspectos anecdóticos y de experiencia de especialistas. Es fundamental conocer los principios de la dinámica de los socioecosistemas degradados para construir objetivos viables y eficaces para tener un paisaje con niveles altos de remediación y, posteriormente, lograr la restauración con la participación de la sociedad. El paisaje puede ser utilizado como un indicador para evaluar los socioecosistemas degradados por actividades antropocéntricas, como la industria minera y petrolera. Por último, se debe promover proyectos de restauración ecológica multi y transdisciplinarios que consideren al socioecosistema como un todo dentro de lo social-antropológico, lo ecológico-biológico y lo económico-administrativo para asegurar que la recuperación del socioecosistema.

Palabras clave: remediación, ecología, sociedad, gobernanza, perturbaciones.

SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS: THEORETICAL AND CONCEPTUAL ELEMENTS IN THE RESTORATION OF DEGRADED LANDSCAPES

Abstract.- Restoration is a conservation objective, but in forest systems, the process is long and slow, based on tree growth. On the other hand, we are living in the Anthropocene and the prediction of environmental change is rapid compared to the restoration timeframes of degraded areas. The objective of this research was to describe the theoretical and conceptual elements for the restoration of degraded landscapes. To do so, a descriptive-analytical method was used with a systematization of information and bibliography. In addition, *ad libitum* was applied to generate conceptual maps of anecdotal aspects and the experience of specialists. It is essential to know the principles of the dynamics of degraded socio-ecosystems to build viable and effective objectives to have a landscape with high levels of remediation and, subsequently, achieve restoration with the participation of society. The landscape can be used as an indicator to evaluate socio-ecosystems degraded by anthropocentric activities, such as the mining and oil industries. Finally, multi- and transdisciplinary ecological restoration projects should be promoted that consider the socio-ecosystem within the social-anthropological, ecological-biological and economic-administrative aspects to ensure the recovery of the socio-ecosystem.

Keywords: remediation, ecology, society, governance, disturbances.

Introducción

La alteración de los ecosistemas originales es uno de los muchos problemas ambientales al que se está enfrentando el ser humano. En este deterioro ambiental la afectación de la flora, fauna, el agua, el aire y el suelo de los sistemas naturales, así como la alteración de las interacciones biológicas, biogeoquímicas y los procesos ecológicos característicos de los ecosistemas cada vez son mayores (Margules y Sarkar, 2007). Las maneras de gobernar los recursos naturales no solo impactan los modos de vida de las sociedades, sino que, afectan el territorio y, con ello, las interpretaciones culturales y naturales (Sánchez, 2021).

Las múltiples interacciones entre los componentes biofísicos de la naturaleza con los de los seres humanos tienen presente el espacio-tiempo, la cultura y consideran la unión cognitiva y real ecosocial de las comunidades desde los

¹Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. (CCGS). Calle Centenario del Instituto Juárez S/N Col. Reforma, C.P. 86080 Villahermosa, Tabasco, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4943-1202>, jose.chan@ccgs.mx; guadachaqui@gmail.com. (**Autor correspondiente**)

²Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. (CCGS)-CONAHCYT. Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03940, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5566-7230>

distintos niveles de complejidad socioambiental del territorio, esto es a lo que se le conoce como socioecosistemas (Torres-Carral, 2021). Asimismo, los socioecosistemas mantienen un equilibrio dinámico en el proceso de interacción entre la población humana y la capacidad de carga del medio ambiente (Ben-Eli, 2015).

Cuando los socioecosistemas presentan problemas ambientales, ya sea por externalidades económicas y sociales por el desarrollo, se busca mitigar y disminuir los impactos de la degradación tomando en cuenta la complejidad de la relación del ser humano con la naturaleza por la constante transformación y movimiento de todos sus componentes (Ortega-Uribe *et al.*, 2014; Ghazoul y Chazdon, 2017). La degradación implica una reducción de algún atributo natural del ecosistema; por ejemplo, el suelo, el agua y el aire pueden ser contaminados por algún agente tóxico como metales pesados, hidrocarburos del petróleo, plásticos y microplásticos, por mencionar algunos.

Como respuesta a los procesos de deterioro, la Sociedad de la Restauración Ecológica (SER, 2004) ha propuesto un continuo de actividades enfocadas a mejorar en diferente grado la biodiversidad, la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos (Gann *et al.*, 2019). Estas actividades pueden agruparse en cuatro categorías, que, yendo de la menor a la mayor mejora, son la reducción de impactos, la remediación, la rehabilitación y finalmente la restauración ecológica. La *reducción de impactos* se hace en zonas totalmente transformadas, como por ejemplo en las ciudades, con el fin de reducir los impactos sociales; ejemplo de esto es la separación de residuos y su reciclaje. La *remediación* se aplica en sitios fuertemente transformados o deteriorados; por ejemplo, la remediación de suelos de minas abandonadas o de sitios contaminados por hidrocarburos, por mencionar algunos ejemplos. La *rehabilitación* pretende reparar la función ecosistémica, es decir, recuperar los ciclos de nutrientes, lo que puede lograrse incluso con especies exóticas. Finalmente, cuando lo que se busca es el nivel más alto de recuperación posible, así como recuperar un ecosistema nativo (especies y función), estamos hablando de la *restauración ecológica* (RE; Gann *et al.*, 2009).

Recuperar un ecosistema nativo en un sitio degradado implica tener un ecosistema de referencia. Debido a que en muchos casos puede ser que ya no exista un registro histórico del ecosistema original, o las condiciones socioambientales actuales ya no son adecuadas para recuperarlo, se considera que la RE debe transitar hacia el uso de la historia sólo como una guía, y aceptar que la recuperación del ecosistema no necesariamente llegará a un punto fijo, sino que puede tomar una de múltiples trayectorias posibles. Por ello, recuperar de manera estricta la composición original de especies ya no es el objetivo final (Higgs *et al.*, 2014), pero sí la recuperación de una comunidad de plantas nativas.

La RE busca, por tanto, lograr que, a través de la recuperación de la integridad del ecosistema, se logre la satisfacción de valores personales, culturales, socioeconómicos y ecológicos (Gann *et al.*, 2019; Jácome-Flores *et al.*, 2024). La RE es por tanto una herramienta que busca no sólo recuperar un ecosistema nativo, sino reestablecer una relación armónica entre la naturaleza y el ser humano, abordando la integridad del paisaje con la priorización y planificación, la gobernanza y la política pública, y los estándares de buenas prácticas (Gutiérrez, 2017; Cecon, 2024). La restauración de los ecosistemas funge como objetivo razonable para la resolución de las afectaciones antropogénicas y en ocasiones naturales, cuando la recuperación por vías naturales no es posible.

Debido a que la restauración es un medio para la recuperación de las especies vegetales, de la fauna, de los suelos, y del paisaje (Dirección General de Parques Nacionales y Agencia de Parques de Canadá, 2008; Cecon, 2013), es necesario implementar una evaluación de la ecología de la restauración, con el fin de encontrar pasos clave para la implementación de la RE, para la selección de especies nativas que, además de tener un papel ecológico, tengan diversos usos por parte de las comunidades, sin olvidar los factores de manejo, sustentabilidad y racionalidad ambiental (Leff-Zimmerman, 2012; Ramírez-Marcial *et al.*, 2012; Cecon, 2013; Calva-Soto, 2014; Salgado-Terrones, 2015). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue describir los elementos teóricos y conceptuales para la restauración de paisajes degradados.

Materiales y métodos

Se empleó una investigación con enfoque descriptivo-analítico con un protocolo de sistematización de la información, así como bibliográfico (Zupic y Čater, 2015). Para la búsqueda de la literatura se consultó bases de datos como Web of Science, Scopus, Elsevier, Springer, Redalyc, Dialnet y Scielo, utilizando palabras clave como restauración ecológica, ecología de la restauración, gobernanza, directrices, sistemas socioecológicos, por mencionar algunas (Zhu y Liu, 2020; Cascajares *et al.*, 2021), además se utilizaron los tesauros de la UNESCO (2023), específicamente que estuvieran relacionados con el tema de investigación.

Se encontró un total de 3,653 documentos, además de 156 libros. Para la sistematización de la literatura se consideró un enfoque basado en la minería de textos con una muestra no probabilística, es decir, se recogió la información que

aportó datos e información válida para el proceso de análisis de la información (Langer, 2018; Salvatore, 2023), trabajando con 43 documentos.

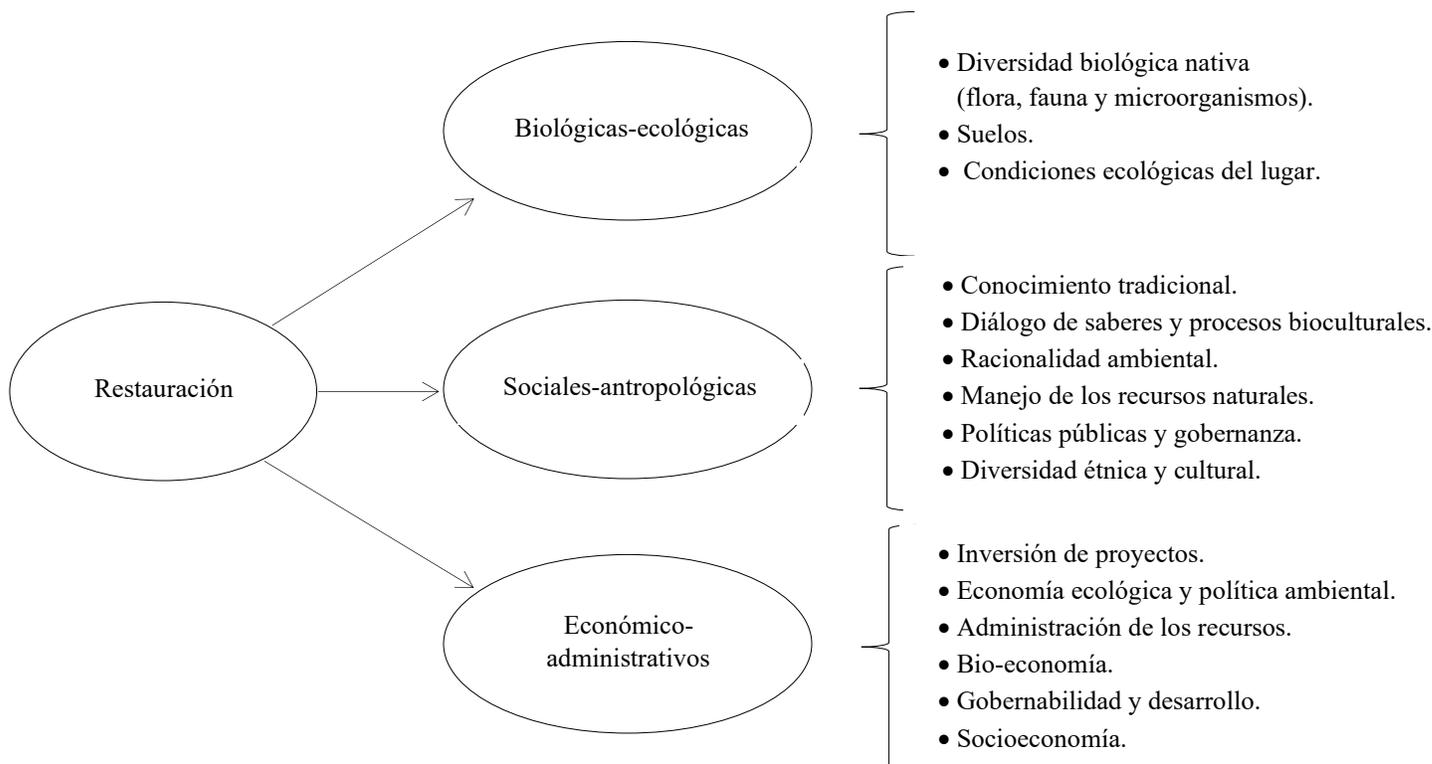
Finalmente, como complemento, se aplicó el *ad libitum*, es decir, se recogieron aspectos anecdóticos y de experiencia de investigadores especialistas en el tema para la construcción de mapas conceptuales (Herrera-Rodríguez *et al.*, 2012; Brereton *et al.*, 2022). Asimismo, el estudio presenta los elementos teóricos y conceptuales de la restauración de zonas impactadas, así como algunos niveles de acción socio-institucional y socio-territoriales.

Resultados y Discusión

Dimensiones de la restauración ecológica y su implementación en México

Para una orientación práctica hacia la realización de proyectos con marcos de planificación, gestión e implementación para la toma de decisiones, es importante considerar las dimensiones biológicas-ecológicas, sociales-antropológicas y económico-administrativas (Figura 1).

Figura 1. Consideraciones y directrices para la restauración de suelos degradados.



Nota: elaboración propia a partir de Ortiz-Espejel y Duval-Berhmann (2007); Ceccon *et al.* (2013), Galán *et al.* (2013) y Martínez-Alier y Roca-Jusmet (2013).

Dentro de las directrices para la RE, es necesario considerar que los socioecosistemas difieren, que las políticas y las culturas varían por regiones, así como la resiliencia (o elasticidad) de los factores anteriores, ya que a lo largo del tiempo la capacidad que tiene cada una serán distintas, por ello, es indispensable mantener la funcionalidad y continuidad para cada tipo de socioecosistema (Sánchez, 2005).

Cairns Jr (2002), Hufford y Mazer (2003) y Sánchez (2005) mencionan que lo anterior deja claro que no existen lineamientos o recetarios para una RE perfecta, pero sí existe una serie de fundamentos que articulan de manera adecuada y que, además, contribuyen a atenuar los daños causados a los distintos socioecosistemas. Dentro de estos fundamentos, están los de la Sociedad de la Restauración Ecológica (SER, 2004), que definió los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la RE (Gann *et al.*, 2019). La Dirección General de Parques Nacionales y Agencia de Parques de Canadá (2008), IMP (2010), Brenner y Rosales-Ortega (2015), McDonald *et al.* (2016),

Sewell *et al.* (2016) y Méndez-Toribio *et al.* (2017) identifican también algunas directrices y planes para la restauración (Tabla 1), algunos de estos pueden ser con apoyo de la sociedad local.

Tabla 1. *Directrices y planes para la restauración.*

Directrices	Planes	Característica
Aplicación de objetivos, marco conceptual, metas y alternativas	Identificar alteraciones y perturbaciones. Planear puntos clave para la priorización de la restauración como, por ejemplo, datos biofísicos, socioeconómicos, culturales, ambientales, así como uso del suelo.	Generar líneas de base para el proyecto de reforestación y diagnósticos a partir de las identificaciones con perspectivas de sustentabilidad.
Elementos de priorización	Tener en cuenta la calidad del agua y del suelo. Especies de plantas nativas a utilizar.	Realizar análisis físico-químicos y de contaminantes. Consultar las normas y leyes sobre la presencia de sustancias en el agua y suelo. Evaluar el progreso en el corto, mediano y largo plazo. Tener guías de siembra, de propagación de árboles y manuales de manejo de restauración.
Aspectos de implementación	Mejoramiento del paisaje. Realizar mapas de las áreas a reforestar. Implementación de indicadores sociales, económicos y ambientales.	Identificar los límites territoriales de los ecosistemas pertinentes de acuerdo con las divisiones políticas. Utilizar Sistemas de Información Geográfica. Estimar las coberturas de las áreas a restaurar.
Aspectos de monitoreo	Establecer guías técnicas sobre los aspectos ambientales y ecológicos. Evaluación de aspectos biofísicos, socioeconómicos y financieros.	Verificación topográfica de las zonas. Composición de la vegetación: en ecosistemas conservados y restaurados, y en áreas productivas Configuración de la vegetación: número, tamaño y forma de los parches de vegetación, y distancia entre ellos
Mecanismos de financiamiento	Identificar los mecanismos, las fuentes económicas e instrumentos de financiamiento para los planes de restauración.	Tener una coordinación interinstitucional para los métodos y procesos de restauración, además, se debe formular iniciativas a largo plazo para asegurar el éxito del área.
Comunidades, conocimiento y gobernanza	Aplicación de metodologías como la participación-acción u otros. Considerar las dinámicas multiescalares de los procesos económico-ambientales.	Fomentar la participación social, reconocer y utilizar los conocimientos tradicionales en los procesos de restauración para las comunidades.

Tener una coordinación para la gobernanza productiva-territorial para la restauración y los procesos de construcción para la gobernanza.

Localizar que políticas ambientales apoyan para la coordinación legislativa. Considerar los componentes y directrices de la gobernanza del territorio en la restauración. Aplicar la metodología acción participativa para que la sociedad local se sienta parte del proyecto de restauración. Aplicación de los planes y marcos regulatorio para una buena estrategia de restauración.

Nota: elaboración propia a partir de Dirección General de Parques Nacionales y Agencia de Parques de Canadá (2008), IMP (2010), Brenner y Rosales-Ortega (2015), Gann *et al.*, (2019), Isaacs-Cubides y Ariza (2015), McDonald *et al.* (2016), Sewell *et al.* (2016) y Méndez-Toribio *et al.* (2017).

Aunque la disciplina de la restauración ha crecido notablemente en las últimas décadas (Shen *et al.*, 2023), ha proporcionado nuevas ideas y oportunidades para conservar la biodiversidad, manejar los socioecosistemas y probar las teorías ecológicas (Choi, 2007; López-Barrera *et al.*, 2017), en México la restauración aún carece de una normatividad legislativa por parte de las autoridades, así como las iniciativas de otras actividades de recuperación que se deben implementar, por ejemplo, en áreas contaminados con hidrocarburos del petróleo, áreas impactadas por minería y zonas muy degradadas (Cecon *et al.*, 2015; Chan-Quijano *et al.*, 2015; Méndez-Toribio *et al.*, 2017). A pesar de que México promulgó la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2018), en donde se establece repetidamente la necesidad de la restauración de cuencas, suelos y ecosistemas; de que la CONABIO (2016) elaboró el mapa nacional de áreas prioritarias para la restauración y conservación, y de que México ha firmado múltiples convenios internacionales para implementar acciones de restauración ecológica en el territorio (Méndez-Toribio, 2018), no cuenta con instrumentos específicos que definan conceptos, criterios y estándares básicos, acciones requeridas o regulaciones para implementar y evaluar la restauración, mucho menos a nivel de paisaje (Cecon *et al.*, 2015; Checa-Artasu, 2016). Tampoco cuenta con políticas nacionales o locales que promuevan y guíen esas prácticas, ni con un fondo económico para la recuperación de las áreas afectadas (Aronson, 2016), salvo los recursos que por décadas se han invertido por CONAFOR en acciones de reforestación.

Pasar de la restauración local a la restauración socioecosistémica a nivel de paisaje

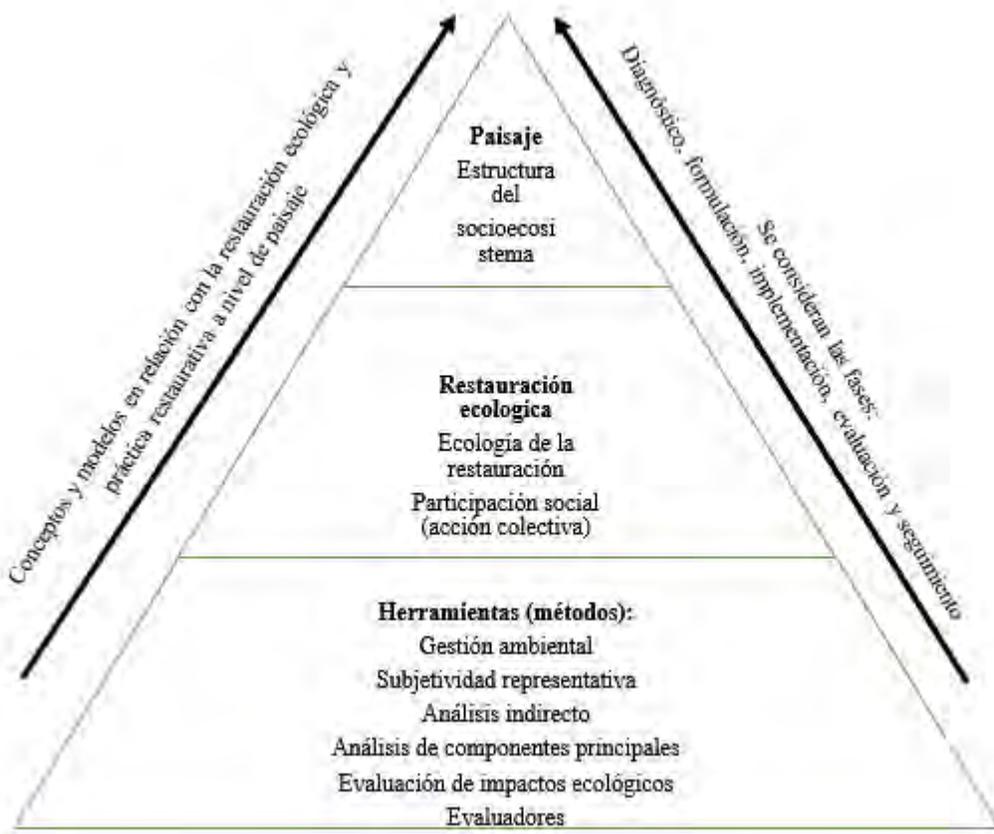
Para los procesos de RE ya no basta considerar solo lo ecológico-biológico de la zona afectada, se deben tomar en cuenta los aspectos social-antropológico y económico-administrativo a un nivel de paisaje, por la importancia que tiene el paisaje para hacer frente a los desafíos de degradación de las zonas rurales y urbanas (Besseau *et al.*, 2018; Jácome-Flores *et al.*, 2024; Rocha, 2024). Además, se debe considerar la participación social dentro de los proyectos de remediación y restauración con el propósito de mejorar las condiciones de vida y lograr un objetivo común. Asimismo, se deben llevar a cabo una planificación de las actividades ecológicas, sociales y económicas del paisaje para un beneficio socioecológico (Aguirre-Salcedo y Cecon, 2020; Cecon, 2024).

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2013) define al paisaje, siendo perceptible visualmente, como un atributo natural que otorga un bienestar único y representativo; Muñoz-Pedrerros (2004) menciona que los componentes del paisaje son el relieve, el agua, la cubierta vegetal y los elementos antrópicos. Además, también habría que considerar que el paisaje es un recurso que incluye dentro de los socioecosistemas elementos físicos, bioecológicos y humanos, con todos los procesos de conformación del territorio (contradicciones, conflictos o con toda su historia; Beringuier, 1991; Muñoz-Pedrerros, 2004; Palafox-Muñoz, 2011).

Por lo tanto, el paisaje puede ser utilizado como herramienta en los procesos de restauración para sostener y lograr una estabilidad en los procesos de ecológicos para una conectividad del paisaje con un enfoque de conservación del socioecosistema (Leija *et al.*, 2024). Para poder evaluar el paisaje dentro de la restauración es necesario considerar la gestión ambiental como herramienta, aplicar la metodología de la valoración directa de la subjetividad representativa, y aplicar un análisis posterior indirecto con análisis de componentes principales (Muñoz-Pedrerros, 2004). Además de establecer una variabilidad derivada con evaluadores [propuesta por Muñoz-Pedrerros y Larraín (2002); considerando la equidad de género, además, se debe integrar grupos formados por personas exigentes en paisajes, en transformadoras

de paisaje y con adiestramiento en evaluación de paisaje, que actúen como grupo control], con el fin de controlar, lo más posible, la fuente de variación (Figura 2; Muñoz-Pedrerros *et al.*, 1993, 2000, 2012).

Figura 2. Relación metodológica para la restauración del socioecosistema a nivel de paisaje.



Nota: elaboración propia a partir de Muñoz-Pedrerros y Larrain (2002), Muñoz-Pedrerros (2004), González-Molina *et al.*, (2022), Márquez-Huitzil *et al.*, (2022).

Elementos para considerar en la restauración ecológica

De acuerdo con MOPT (1993) y Ceccon (2013) se debe considerar como componente central la vegetación representativa del área y el tipo de suelo. Al mismo tiempo, se cartografía el área afectada, generando unidades de paisajes homogéneas y se agrega los componentes del paisaje a los sistemas homogéneos (cobertura vegetal y la morfología del terreno). De igual forma, se tendría que implementar políticas públicas para proteger, recuperar y restaurar los socioecosistemas considerando que son dinámicos (Choi, 2007; Cortina-Segovia y Zorrilla-Ramos, 2009). Por ejemplo, mediante la aplicación de las directrices, recomendaciones generales y específicas orientadas al saneamiento y a la recuperación de suelos degradados (Dirección General de Parques Nacionales y Agencia de Parques de Canadá, 2008; IMP, 2010; Chan-Quijano *et al.*, 2015).

Por otra parte, de acuerdo con Primack y Massardo (2001), SER (2004), Choi (2007), Ceccon *et al.* (2015) y Jácome-Flores *et al.* (2024) se debe orientar a la restauración ecológica del sitio con diez lineamientos:

1. Se debe establecer múltiples objetivos, trayectorias y capacidades como alternativas para los puntos finales impredecibles en la restauración del área.
2. Se debe centrar en la rehabilitación de las funciones del socioecosistema y de la ecología del paisaje, en lugar de la recomposición de especies o de la superficie del paisaje.
3. Se debe reconocer a la restauración de la zona dentro de un marco económico y que la sociedad la acepte, así como diseñar instrumentos económicos efectivos y accesibles (por ejemplo, mercado de bonos de carbono) para acelerar las actividades de restauración del área afectada.

4. Se debe aplicar teorías ecológicas a la práctica de la restauración del socioecosistema dañado.
5. Se debe fortalecer el estudio del área con la ciencia y la tecnología de la restauración y aplicar multas a los que no reparen el daño.
6. Se debe implementar un fondo económico ambiental para obtener recursos para la investigación básica y aplicada, para la resolución del ecocidio.
7. Se debe fomentar una construcción social (dentro del concepto de restauración) y difundir a las personas a través de campañas en radio, televisión y medios electrónicos la problemática de su región.
8. Se debe fortalecer redes entre todos los actores sociales involucrados a nivel local y regional.
9. Se debe implementar una justicia ambiental, esbozar los compromisos y dar soluciones viables y sustentables dentro de la restauración del área afectada.
10. Se debe tener una corresponsabilidad espacial, económica y equitativa (comunes).

Por último, es necesario y de suma importancia implementar programas de educación ambiental y de salud a la población aledaña al socioecosistema afectado y que se desee restaurar, ya que la visión de acuerdo con Zorrilla-Ramos (2005) es que solamente se tiene a un empleado federal sobre un problema ambiental en un territorio y, este problema puede ser distinto a la que vive un habitante de una comunidad o un miembro de una organización local.

Conclusiones

La remediación, restauración y conservación de la diversidad biológica, los factores ambientales y las perturbaciones humanas son puntos críticos que se deben considerar en los proyectos de restauración de los socioecosistemas degradados para ajustar la toma de decisiones enfocados a la valoración socioeconómica y factores ecológicos-biológicos orientados a los objetivos locales de cada zona. De igual manera, se sigue evidenciado que existe poco financiamiento para los proyectos de restauración y con este análisis, se demuestra que la restauración ecológica debe ser prioridad dentro de la política pública ambiental para la recuperación de los socioecosistemas afectados, integrando y abordando con prácticas multivariadas que logren crear la estructura, función y durabilidad del proyecto para lograr la sustentabilidad del paisaje. Por otro lado, se debe considerar mantener evaluaciones a mediano y largo plazo cuando el socioecosistema ha sido restaurado para mantener un monitoreo y control de la zona desde el sistema jurídico mexicano bajo la perspectiva de remediación y restauración. Además, se debe promover proyectos de restauración ecológica multi y transdisciplinarios que consideren al socioecosistema como un todo, es decir, considerar lo social-antropológico, lo ecológico-biológico y lo económico-administrativo para asegurar que la recuperación del socioecosistema y que brinden servicios ambientales. Por último, los elementos teóricos y conceptuales que se presentan son de utilidad para identificar de manera sistemática las acciones de remediación y restauración del paisaje afectado.

Referencias bibliográficas

- Aguirre-Salcedo, C., Ceccon, E. (2020). Socioecological benefits of a community-based restoration of traditional home gardens in Guerrero, Mexico. *Etnobiología*, 18(3), 73-91.
- Aronson, J.C. (2016). Prólogo. La restauración ecológica en México: rayos de esperanza. In: E. Ceccon, C. Martínez-Garza (coords). *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 19-22.
- Ben-Eli, M. (2015). Sustainability: definition and five core principles. A new framework. New York, USA: The Sustainability Laboratory.
- Beringuier, C. (1991). Manières pasagères: un méthode d'étude. *Geodoc*, 35, 3-58.
- Besseau, P., Graham, S., Christophersen, T. (2018). Restauración de bosques y paisajes: la clave para un futuro sostenible. Viena, Austria: Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal, Asociación Mundial para la Restauración del Paisaje.
- Brenner, L., Rosales-Ortega, R. (2015). Introducción. Procesos de intereses y de conflictos entre actores. En R. Rosales-Ortega, L. Brenner (coords). *Geografía de la gobernanza: dinámicas multiescalares de los procesos económicos-ambientales*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Siglo XXI Editores, pp. 7-19.
- Brereton, J.E., Tuke, J., Fernández, E.J. (2022). A simulated comparison of behavioural observation sampling methods. *Scientific Reports*, 12, 3096. <http://doi.org/10.1038/s41598-022-07169-5>
- Cairns Jr, J. (2002). Rationale for restoration. In M.R. Perrow, A.J. Davy (eds). *Handbook of ecological restoration, Vol. 1: principles of restoration*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 10-23. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511549984.004>

- Calva-Soto, K. (2014). Estado actual de la restauración ecológica en México. Tesis de licenciatura. Mineral de la Reforma, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cascajares, M., Alcayde, A., Salmerón-Manzano, E., Manzano-Agugliaro, F. (2021). The bibliometric literature on Scopus and WoS: the medicine and environmental sciences categories as case of study. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 18(11), 5851. <http://doi.org/10.3390/ijerph18115851>
- Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ediciones Díaz de Santos.
- Ceccon, E. (2024). La importancia del capital social en proyectos participativos de restauración ecológica. *Letras Verdes*, 35, <http://doi.org/10.17141/letrasverdes.35.2024.6058>
- Ceccon, E., Barrera-Cataño, J.I., Aronson, J., Martínez-Garza, C. (2015). The socioecological complexity of ecological restoration in Mexico. *Restoration Ecology*, 23(4), 331-336. <http://doi.org/10.1111/rec.12228>
- Chan-Quijano, J.G., Jarquín-Sánchez, A., Ochoa-Gaona, S., Martínez-Zurimendi, P., López-Jiménez, L.N., Lázaro-Vázquez, A. (2015). Directrices para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Teoría y Praxis*, 17, 123-144. <http://10.22403/UQROOMX/TYP17/05>
- Checa-Artasu, M.M. (2016). El paisaje, concepto útil para el análisis territorial de los campos de petróleo en México. In M.M. Checa-Artasu, R. Hernández-Franyuti (coords). *El petróleo en México sus impactos sobre el territorio*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, pp. 75-118.
- Choi, Y.D. (2007). Restoration ecology to the future: a call for new paradigm. *Restoration Ecology*, 15(2), 351-353. <http://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00224.x>
- CONABIO (2016). Sitios prioritarios para la restauración' escala: 1:1 000000. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cortina-Segovia, S., Zorrilla-Ramos, M. (2009). Capacidades para la implementación de políticas públicas. In CONABIO-PNUD (eds). *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 117-151.
- Dirección General de Parques Nacionales y Agencia de Parques de Canadá (2008). Principios y directrices para la restauración ecológico en las áreas protegidas naturales de Canadá. Quebec, Canadá: El Consejo Canadiense de Parques y Parques de Canadá.
- Galán, C., Balvanera, P., Castellarini, F. (2013). Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1). <http://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Ghazoul, J., Chazdon, R. (2017). Degradation and recovery in changing forest landscapes: a multiscale conceptual framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 161-188. <http://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060736>
- González-Molina, H.Z., Trilleras, J.M., Pyszczyk O.L., Romero-Duque, L.P. (2022). Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. *Acta Botánica Mexicana*, 129, e1929. <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1929>
- Gutiérrez, Y. (2017). Ecological restoration, an unprecedented opportunity for nature and people. *Forests news*, Center for International Forestry Research. Disponible en: <https://forestsnews.cifor.org/51512/ecological-restoration-an-unprecedented-opportunity-for-nature-and-people?fnl=en> [23/mayo/2024].
- Herrera-Rodríguez, J., Pedroza-Cabrera, F.J., Oropeza-Tena, R., Rivera-Heredia, M.E. (2012). Análisis experimental de interacciones sociales intrapenitenciarias; el caso del intercambio, la sanción y el poder. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 38(2), 106-125.
- Higgs, E., Falk, D.A., Guerrini, A., Hall, M., Harris, J., Hobbs, R.J., Jackson, S.T., Rhemtulla, J.M., Throop, W. (2014). The changing role of history in restoration ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(9), 499-506. <http://doi.org/10.1890/110267>
- Hufford, K.M., Mazer, S.J. (2003). Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(3), 147-155. [http://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00002-8](http://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00002-8)
- IMP (2010). Dirección de seguridad y medio ambiente. México: Instituto Mexicano del Petróleo, Gerencia de Comunicación Social y Relaciones Públicas.
- Isaacs-Cubides P., Ariza A. (2015). Monitoreo a la restauración ecológica desde la escala de paisaje. En: Aguilar Garavito, D.M., Ramírez Hernández, W.A. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica: aplicado*

- a ecosistemas terrestres*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, pp. 51-66.
- Jácome-Flores ME, Popoca-Cruz PE, Sanaphre-Villanueva L. (2024). Not only biology matters: socioeconomic factors change land prioritization for restoration. *Restoration Ecology*, 32(3), e14059. <http://doi.org/10.1111/rec.14059>
- Langer, G. (2018). Probability versus non-probability methods. In: Vannette D, Krosnick J. (eds) *The palgrave handbook of survey research*. England: Palgrave Macmillan Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-319-54395-6_45
- Leff-Zimmerman, E. (2012). Diálogo de saberes, saberes locales y racionalidad ambiental en la construcción social para la sustentabilidad. En A. Labrador-Sánchez (coord). *Gobernabilidad y desarrollo sustentable: miradas múltiples*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 29-71.
- Leija, E.G., Mendoza, M.E., Pérez-Hernández, M.J. (2024). Introducción. En: Leija-Loredo, E.G., Mendoza-Cantú, M.E., Pérez-Hernández M.J. (coords). *La conectividad del paisaje como enfoque integrador en el manejo y conservación del territorio*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, pp. 11-14.
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., Ceccon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 97-112. <http://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- Margules, C.R., Sarkar, S. (2007). Systematic conservation planning. New York: Cambridge University Press.
- Márquez-Huitzil, R., Martínez-Garza, C., Osorio-Beristain, M. (2022). Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129, e2019, <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>
- Martínez-Alier, J., Roca-Jusmet, J. (2013) Economía ecológica y política ambiental. México: Fondo de la Cultura Económica.
- McDonald, T., Jonson, J., Dixon, K.W. (2016). National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, 24(S1), S4-S32. <http://doi.org/10.1111/rec.12359>
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceccon, E., Guariguata M.R. (2018). La restauración de ecosistemas terrestres en México: estado actual, necesidades y oportunidades. Bogor, Indonesia: Centro de Investigación Forestal Internacional. <http://doi.org/10.17528/cifor/006853>
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceccon, E., Guariguata, M.R. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.1>
- MOPT (1993). Guía metodológica para el estudio del medio físico y la planificación, series monográficas. Madrid, España: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
- Muñoz-Pedrero, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77, 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>
- Muñoz-Pedrerros, A., Badilla, A., Rivas, H. (1993). Evaluación del paisaje en un humedal del sur de Chile: el caso del río Valdivia (X Región). *Revista Chilena de Historia Natural*, 66, 403-417.
- Muñoz-Pedrerros, A., Larraín, A. (2002). Impacto de la actividad silvoagropecuaria sobre la calidad del paisaje en un transecto del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 673-689. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000400004>
- Muñoz-Pedrerros, A., Moncada-Herrera, J., Gómez-Cea, L. (2012). Evaluación del paisaje visual en humedales del río Cruces, sitio Ramsar de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85, 73-88. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2012000100006>
- Muñoz-Pedrerros, A., Moncada-Herrera, J., Larraín, A. (2000). Variación de la percepción del recurso paisaje en el sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73, 729-738. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2000000400015>
- Ortega-Uribe, T., Mastrangelo, M.E., Villarroel-Torrez, D., Piaz, A., Vallejos, M., Saenz-Ceja, J.E., Gallego, F., Franquesa-Soler, M., Calzada-Peña, L., Espinosa-Mellado, N., Fiestas-Flores, J., Gill-Mairhofer, L.R., González-Espino, Z., Luna-Salguero, B.M., Martínez-Peralta, C.M., Ochoa, O., Pérez-Volkow, L., Sala, J.E., Sánchez-Rose, I., Weeks, M., Ávila-García, D., García-Reyes, I.B., Carmona, A., Castro-Videla, F., Ferrer-González, C.S., Frank-Buss, M.E., López-Carapia, G., Núñez-Cruz, M., Taboada-Hermeza, R., Benet, D., Venegas, Y., Balvanera, P., Mwampamba, T.H., Lazos-Chavero, E., Noellemeyer, E., M. Maass. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación Ambiental*, 6(2), 123-136.
- Ortiz-Espejel, B., Duval-Berhmann, G. (2007). Bases y modelos conceptuales de las políticas sobre recursos biológicos. In P. Álvarez-Icaza, F. Chapela, B. Ortiz (comps). *Perspectivas para el uso sostenible de los recursos biológicos de México en el siglo XXI*. México: Universidad Iberoamericana de Puebla, Nacional

- Financiera, Corredor Biológico Mesoamericano-México, Proyecto de Comunidades, Indígenas y Biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Diversidad Biológica, pp. 11-16.
- Palafox-Muñoz, A. (2011). Paisaje y turismo en Cozumel, México. In A. Palafox-Muñoz, A. Alvarado-Herrera (coords). *Ambientes del turismo: actores y escenarios*. Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo, pp. 51-68.
- Primack, R., Massardo, F. (2001). Restauración ecológica. In R. Primack, R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo, F. Massardo (eds). *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. México: Fondo de la Cultura Económica, pp. 559-582.
- Ramírez-Marcial, N., Luna-Gómez, A., Castañeda-Ocaña, H.E., Martínez-Icó, M., Holz, S.C., Camacho-Cruz, A., González-Espinosa, M. (2012). Guía de propagación de árboles nativos para la recuperación de bosques. Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Rocha, R.S. (2024). La ciudad compacta y verde: conservación del territorio y conectividad del paisaje en una experiencia en taller de diseño arquitectónico. En: Leija-Loredo, E.G., Mendoza-Cantú, M.E., Pérez-Hernández M.J. (coords). *La conectividad del paisaje como enfoque integrador en el manejo y conservación del territorio*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, pp. 73-88.
- Salgado-Terrones, O. (2015). Caracterización del uso y calidad de especies nativas para leña en comunidades de Acatepec, Guerrero con fines de restauración. Tesis de maestría: México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salvatore, C. (2023). Inference with non-probability samples and survey data integration: a science mapping study. *Metron*, 81(1), 83-107. <http://doi.org/10.1007/s40300-023-00243-6>
- Sánchez, B. (2021). Análisis de gobernabilidad en un sistema socio-ecológico complejo: cuenca del río Caroní, Venezuela. *Cuadernos Inter.c.a.mbio sobre Centroamérica y el Caribe*, 18(2), 1-20. <http://doi.org/10.15517/c.a.v18i2.47440>
- Sánchez, O. (2005). Introducción. In O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds). *Temas sobre restauración ecológica*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C., pp. 11-12.
- SEA (2013). Guía de evaluación de impacto ambiental: valor paisajístico en el SEIA. Chile: Servicio de Evaluación Ambiental.
- SER (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Sewell, A., Bouma, J., van der Esch, S. (2016). Investigating the challenges and opportunities for scaling up ecosystem restoration, background report. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Shen, Z., Tian, Y., Yao, Y., Jliang, W., Dong, J., Huang, X., Wu, X., Farooq, T.H., Yan, W. (2023). Ecological restoration research progress and prospects: a bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 155, 110968. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110968>
- Torres-Carral, G. (2021). About the concept of socio-ecological system. An ecosocial analysis. *Textual*, 77, 89-114. <http://10.5154/r.textual.2021.77.03>
- UNESCO (2023). Tesoro de la UNESCO. Disponible en: [https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/\[12/diciembre/2023\]](https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/[12/diciembre/2023]).
- Zhu, J., Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123, 321-335. <http://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>
- Zorrilla-Ramos, M. (2005). La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. In O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds). *Temas sobre restauración ecológica*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C., pp. 31-43.
- Zupic, I., Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <http://doi.org/10.1177/1094428114562629>



CONTROL INDUSTRIAL DE UN MOTOR A PASOS USANDO TECNOLOGÍA FRUGAL

Omar Trejoluna-Hernández¹, Felipe de Jesús Torres del Carmen^{2*},
Ma. Concepción Alvarado³, Miroslava Cano-Lara⁴, Israel Martínez Ramírez⁵.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 30/06/2024 Aceptado: 07/07/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a3>

Resumen.- En este artículo se presenta el diseño, construcción y resultados experimentales de una plataforma para el control industrial de un motor a pasos Nema 34, el cual es controlado a través del *driver DQ860HA* por medio de la modulación del ancho de pulso que es generado por una minicomputadora Raspberry Pi, por lo que se requiere un código de programación que ejecute cíclicamente la cantidad de pulsos que deben ser enviados al controlador atendiendo el paso nominal de 400 pulsos por revolución. Además, se ha desarrollado una interfaz de usuario en donde se habilita la posibilidad de seleccionar algunas modalidades de operación del motor a pasos como la velocidad y sentido de giro, cantidad de pasos a desarrollar por el motor o bien, el número de revoluciones que girará el motor. Por tanto, el código de programación realizará los cálculos necesarios para generar la señal de pulsos que atiendan a los valores definidos por el usuario. Se ha utilizado lenguaje de programación Python para manejar el puerto de entrada/salida de la Raspberry Pi con resultados experimentales que muestran el correcto desempeño del trabajo desarrollado usando tecnología frugal aplicada en un equipo industrial.

Palabras Clave: minicomputadora, control, frugal, motor, interfaz.

INDUSTRIAL CONTROL OF A STEPPER MOTOR USING FRUGAL TECHNOLOGY

Abstract.- This paper presents the design, construction and experimental results of a platform for the industrial control of a Nema 34 stepper motor, which is controlled through the DQ860HA driver by means of the pulse width modulation that is generated by a Raspberry Pi minicomputer, so a programming code is required to cyclically execute the number of pulses that must be sent to the controller attending the nominal step of 400 pulses per revolution. In addition, a user interface has been developed to enable the possibility of selecting some operation modes of the stepper motor such as speed and direction of rotation, number of steps to be developed by the motor or the number of revolutions that the motor will rotate. Therefore, the programming code will perform the necessary calculus to generate the pulse signal that meets the values defined by the user. Python programming language has been used to manage the input/output port of the Raspberry Pi with experimental results that show the correct performance of the developed work using frugal technology applied to an industrial device.

Keywords: minicomputer, control, frugal, motor, interface.

Introducción

Actualmente, un concepto que está teniendo gran relevancia es la llamada Sociedad 5.0, término que apareció en Japón en 2016 como parte del 5to plan básico de ciencia y tecnología elaborado por el Despacho de Ciencia y Tecnología del gobierno japonés y, se refiere a un nuevo tipo de sociedad, donde la innovación en ciencia y tecnología ocupe un lugar prominente, cuyo objetivo consiste en alcanzar un balance social mientras se asegure un desarrollo económico (Salgues, 2018). Particularmente, en la Sociedad 5.0 se hace énfasis en restaurar la centralidad en el ser humano con

¹ Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Federal Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Salamanca, Guanajuato, México, 36880. ORCID: 0009-0001-9614-5874

² Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Federal Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Salamanca, Guanajuato, México, 36880. ORCID: 0000-0001-5792-2098, correo electrónico: fd.torres@ugto.mx, * **Autor corresponsal.**

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, Camino a Barranca de Pesos S/N, San Martín Texmelucan, Puebla, México, 74120. ORCID: 0000-0002-4193-7452

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Silao-Irapuato km 12.5, El Copal, Irapuato, Guanajuato, México, 36821. ORCID: 0000-0002-3335-2710

⁵ Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Federal Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Salamanca, Guanajuato, México, 36880. ORCID: 0000-0002-8186-4390

la utilización adecuada de la tecnología para el aprovechamiento de las oportunidades de innovación (Troisi et al., 2023).

Bajo este contexto, los desafíos que presentan actualmente distintos procesos industriales relacionados con el control y automatización se relacionan con la necesidad de utilizar tecnología de bajo costo, que, además, se posicionen como una opción eficiente para ser considerado por una gran mayoría, en particular, aquellos que no poseen los recursos económicos para adquirir equipo que se oferta en el mercado. Desde esta perspectiva, en los últimos años ha tenido un creciente auge entre la comunidad de ingeniería la aplicación de un concepto conocido como tecnología frugal, el cual refiere a medios y fines para hacer más con menos para muchos, es decir, hacer uso de la tecnología para obtener más de pocos recursos y así, lograr procesos o productos que sean accesibles a amplias poblaciones (Hossain et al., 2022).

Así, se pueden encontrar aplicaciones frugales en ingeniería en Sowinski et al., 2023, Kwon y Park, 2021, y Sanchez et al., 2023. Dentro de estas aplicaciones frugales, uno de los problemas atacados se ha focalizado en realizar simulaciones por computadora al menor costo posible, pero con un nivel de calidad aceptable (Jayabalan, 2021), por lo que se ha abordado desde dos perspectivas diferentes, una relacionada con el software de código abierto (OSS, por sus siglas en inglés) y otra con el uso de hardware de código abierto (OSH, por sus siglas en inglés). Esto debido a que la investigación y la enseñanza pueden vincularse más estrechamente a las arquitecturas de hardware del mundo real cuando se basan en sistemas OSH/OSS (Hannig y Teich, 2021).

Desde la perspectiva del OSS, Wajid et al., 2018 diseña un sistema operativo libre, fácilmente distribuible y personalizado basado en Ubuntu para ingeniería eléctrica/electrónica e informática; Tapaskar et al., 2018 destaca el empleo de herramientas OSS en los planes de estudio de ingeniería de posgrado; Lotfi et al., 2021 se centra en promover el uso de OSS como Python, GNU-Octave, Modelica, Java y Gazebo en la educación de ingeniería mecatrónica y robótica, donde se considera un motor de CD para mostrar la aplicación de OSS para el análisis y la simulación de modelos; Saluja et al., 2020 propone un sistema bajo un nuevo enfoque para el aprendizaje y la enseñanza de procesos de ingeniería de software a estudiantes de grado o postgrado; y Park, 2022 desarrolla un código automático GNU Octave con fines educativos para calcular la respuesta de un sistema de cadena cerrada multicuerpo; así mismo, en Choi et al., 2021, se hace especial hincapié en el uso de simulaciones en robótica donde se abordan algunas oportunidades en el desarrollo y validación de plataformas de simulación de código abierto.

En cuanto a la perspectiva de hardware de código abierto OSH, varios trabajos se han centrado en la sustitución de la computadora personal por una minicomputadora de placa única. Por ejemplo, Raikar et al., 2018 sugiere que la Raspberry Pi (RPi) se puede utilizar para la realización de prácticas de laboratorio dentro del plan de estudios de un programa de ingeniería informática; Alex David et al. 2018 diseña un laboratorio en línea acerca de un banco de pruebas de motores CD a través de una RPi para posibles aplicaciones en la enseñanza de la ingeniería eléctrica; Fernández et al., 2019 describe el desarrollo de un laboratorio remoto Arduino para soportar entornos de experimentación de aprendizaje IoT online conectado a RPi; Mbanisi et al. 2020 analiza las limitaciones y el potencial del hardware de código abierto como Arduino, RPi y BeagleBone para su uso en la enseñanza y la investigación en ingeniería; Fuentes et al., 2022 utiliza dispositivos RPi para animar a los estudiantes a trabajar de forma autónoma en las sesiones prácticas de los cursos de organización y diseño de computadoras; y Vaca et al. 2022 describe el diseño y desarrollo de un laboratorio remoto basado en RPi con aplicaciones en ingeniería electrónica y de control.

En aplicaciones frugales de ingeniería respecto al control de equipos o dispositivos, se requiere del uso tanto de software de código abierto como de hardware de código abierto para que sea considerada como una aplicación frugal. Por ejemplo, en Ramchandra et al., 2019 controlan un robot a través de una Raspberry Pi (RPi) y giroscopio ITG3200/ADXL345; Škraba et al., 2020 controla un motor de CD por medio de la señal de ancho de pulso PWM, en el cual utilizan tarjeta Arduino UNO y RPi 3B, y código en JavaScript; Karim y Thamrin, 2022 controla un servodriver PCA9685 con código Python sobre una Raspberry Pi para manipular los servomotores de un robot de 6 grados de libertad. Sin embargo, en todas estas aplicaciones frugales no se ha reportado que se realice en equipo o dispositivo de tipo industrial, lo cual es una recomendación de investigación relacionada con la tecnología OSH (Bonvoisin et al., 2021).

De esta manera, uno de los procesos industriales que son implementados de manera cotidiana, es el control de un motor a pasos, el cual es una máquina electromecánica que desarrolla un par mecánico y, por tanto, un desplazamiento angular, en función de la cantidad de pulsos eléctricos que se le envíen. Así, bajo el enfoque de tecnología frugal, se han reportado algunas aplicaciones frugales donde se ha utilizado una minicomputadora Raspberry Pi (RPi) para esta tarea de control; por ejemplo, en Khairudin et al., 2020 se describe el uso del driver TB6600 para controlar un motor

a pasos Nema 23 en una máquina CNC a través de una RPi. Así mismo, en Ghani et al., 2021 se emplea una RPi 4 para manipular un motor a pasos Nema 34 para un sistema de asistencia de conducción; en Kriswanto, 2021 se desarrolla una máquina de empaquetado a través de una RPi y motor a pasos con el driver TB6600; en Emad et al, 2021 se usa el esquema RPi-Arduino-motor a pasos Nema 34 para hacer funcionar un robot delta; o bien, en Cámara, 2020 se realiza el control de un robot autoequilibrado basado en una RPi-Arduino-motor Nema 17. En estos trabajos se controla un motor a pasos de tipo industrial pero no se desarrolla una interfaz de usuario para seleccionar la modalidad de operación del motor, lo cual limita el funcionamiento deseado del sistema en su conjunto.

Por su parte, Fukumoto et al., 2020 propone un sistema de apoyo al aprendizaje basado en dispositivos móviles y de bajo costo para un motor a pasos que no es de tipo industrial, donde el sistema completo es concebido como un laboratorio remoto basado en la web utilizando una interfaz de usuario amigable; en la que se hace uso de dispositivos de bajo costo como RPi, dos plataformas de Arduino, controlador de medio puente SN754410 y lenguaje de programación Node.js. En este trabajo se ha diseñado una interfaz gráfica de usuario para interactuar con el motor a pasos, pero el motor no es de tipo industrial y en la interfaz, el usuario solo puede introducir el número de pulsos a desarrollar por el motor y el ancho del pulso. Aún más, en Yilmazlar et al., 2018 se presenta una interfaz de usuario programada con Microsoft Visual Studio que puede controlar en lazo abierto a motores a pasos 28 BYJ-48 que no son de tipo industrial, donde el usuario puede indicar el número de pasos, la dirección y la velocidad; se ha utilizado una RPi y circuitos integrados ULN2003A como drivers de los motores a pasos, que se resalta, no son de tipo industrial y con software que no es de código abierto.

Por todo lo anterior, la problemática consiste en que las aplicaciones de tecnología frugal en ingeniería se han desarrollado de manera separada bajo el enfoque de software de código abierto o del uso de hardware de código abierto; sin embargo, para un proceso de control basado en una aplicación de tecnología frugal, se debe incorporar tanto software como hardware de código abierto, lo cual es un desafío aún en la frontera del conocimiento delimitado por el control de un equipo de tipo industrial.

Por tanto, el objetivo de este artículo consiste en mostrar resultados experimentales de la aplicación de tecnología frugal tanto de software como de hardware de código abierto para el control de un motor a pasos de tipo industrial con la interacción a través de una interfaz gráfica de usuario que permita seleccionar la modalidad de funcionamiento del motor, sea a través del número de pulsos, velocidad del motor, sentido de giro, número de revoluciones, entre otras. Todo ello usando una minicomputadora Raspberry Pi y código de programación en Python para la implementación de los algoritmos de la puesta en marcha del motor a pasos de tipo industrial Nema 34 conducido por medio del driver DQ860HA. Esto bajo la hipótesis de que la tecnología frugal, basada en el uso tanto de software como de hardware de código abierto, sí puede ser implementada en procesos industriales que requieren de la interacción con el usuario como parte del desarrollo de una sociedad 5.0.

Materiales y métodos

- Motor a pasos Nema 34.

El motor a pasos trabaja bajo el principio de operación de una máquina eléctrica de CD, sin embargo, se le llama “a pasos” porque desarrolla un pequeño giro, conocido como paso, cada vez que recibe un pulso eléctrico. En particular, en este trabajo se utiliza un motor a pasos industrial, como se muestra en la Figura 1, de doble eje, Nema 34 (dimensión de la placa frontal de 3.4" x 3.4"), con las características técnicas dadas en la Tabla 1.

Figura 1. Motor a pasos Nema 34 de tipo industrial.



Nota: imagen tomada de lionchip, 2024.

Tabla 1. Características técnicas del motor a pasos Nema 34.

Parámetros	Valor
Ángulo de paso	1.8 °
Corriente por fase	3.5 A
Resistencia por fase	1.9 Ω
Inductancia por fase	22 mH
Par de retención	11.2 Nm
Par motor	115 kg/cm
Peso	5 kg

Nota: elaboración propia de los autores.

- Driver DQ860HA.

El DQ860HA de la Figura 2 es un controlador de motor a pasos híbrido de dos fases, diseñado para obtener el máximo rendimiento del motor. Este controlador se puede utilizar con motores que requieren una corriente de hasta 7.2 A para funcionar y cuenta con micro pasos de hasta 1/256 pasos. Este controlador se utiliza normalmente en máquinas CNC, impresoras 3D, máquinas de corte por láser y otras máquinas de automatización. Las especificaciones técnicas del DQ860HA se detallan en la Tabla 2.

Figura 2. Driver DQ860HA para motor a pasos híbrido de dos fases.



Nota: imagen tomada de lionchip, 2024.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del driver DQ860HA.

Parámetros	Valor
Voltaje de entrada	24 – 110 V CD o 180 – 80 VCA
Corriente de entrada	< 6 A
Micro pasos	400 – 51200
Corriente de salida	2.1 – 7.2 A pico
Frecuencia del pulso	0 – 100 kHz
Temperatura ambiente en funcionamiento	0 – 70 °C

Nota: elaboración propia de los autores.

- Raspberry Pi 3B+.

La Raspberry Pi modelo 3B+ de la Figura 3, es una placa de desarrollo definida como una computadora en placa única, la cual es concebida como una minicomputadora por su tamaño similar al de una tarjeta de crédito, que soporta sistema operativo basado en Linux, particularmente Raspbian que es el recomendado por la fundación Raspberry Pi. De tal manera que en este trabajo se ha utilizado esta minicomputadora que permite manipular sus 40 pines de propósito general de entrada/salida (GPIO) para interactuar con el exterior a través de sus características técnicas como se detalla en Gamess y Hernandez, 2022; las cuales incluyen un procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) de

64-bit SoC a una frecuencia de reloj de 1.4 GHz y 1 GB de memoria RAM, para implementar acciones de control industrial bajo con interacción con el usuario.

Figura 3. Raspberry Pi 3B+.



Nota: imagen tomada de raspberrypi.com, 2024.

- Python.

El lenguaje de programación Python es considerado como un lenguaje orientado a objetos que está teniendo gran auge en todo el mundo por ser pragmático en la estructura de la sintaxis utilizada. El sistema operativo Raspbian tiene precargadas plataformas de programación para código en Python, por lo que es un lenguaje que puede manipular los recursos de hardware de la Raspberry Pi.

- Metodología.

Actualmente, en la programación de la RPi a través de Python, se usa habitualmente librerías que han sido desarrolladas y compartidas en distintos foros dentro del internet. Sin embargo, en este trabajo se siguió la metodología clásica de la programación de equipos físicos a través del análisis y comprensión del funcionamiento del equipo a controlar de acuerdo con la hoja de datos del fabricante. Es importante notar que el motor a pasos Nema 34 es conducido por el driver DQ860HA, esto quiere decir que el algoritmo de programación debe estar basado en la hoja de datos que especifica cómo funciona el driver DQ860HA.

Una vez comprendido el funcionamiento del driver, se realizaron pruebas de la puesta en marcha del motor a pasos con acciones simples como el envío de una cantidad de pasos que asegurara un desplazamiento angular deseado. Es decir, de acuerdo con las especificaciones del driver y del motor, se analizó y calculó que el código de programación debería enviar por la RPi la cantidad de 400 pulsos hacia el driver DQ860HA para que este a su vez, permitiera que el motor a pasos gire 1 vuelta, sin embargo, para lograr este propósito se debe seguir una secuencia de programación que habilite al driver para que opere, así como el sentido de giro que se desee. Importante notar que la velocidad de rotación del motor está en función de la frecuencia con la cual se envía la señal de pulsos.

Después de haber puesto en marcha el motor, se inició con el diseño básico de una interfaz de usuario, a fin de que se pudiera interactuar con el motor a pasos y poder seleccionar alguna modalidad de operación. En este sentido se optó por solicitar al usuario el número de pulsos a enviar o el número de revoluciones y el sentido de giro a través de valores numéricos que el usuario introducía por medio del teclado. Se destaca que en esta primera etapa de la interacción con el usuario se mantenía una velocidad de rotación fija.

Habiendo logrado esta interacción básica con el usuario, se inició con el proceso de encontrar el algoritmo que permitiera modificar la frecuencia con la cual se envía la señal de pulsos al driver, esto daría como resultado el variar la velocidad de rotación del motor a pasos. Para esto, se tenía como variable de entrada un valor numérico de la velocidad de rotación deseada en revoluciones por minuto (rpm). Este valor debía ser convertido a ciclos por segundo y, posteriormente, dividirlo entre 2 que sería el número de pulsos (valor en alto) que la RPi debía enviar al driver en 1 segundo.

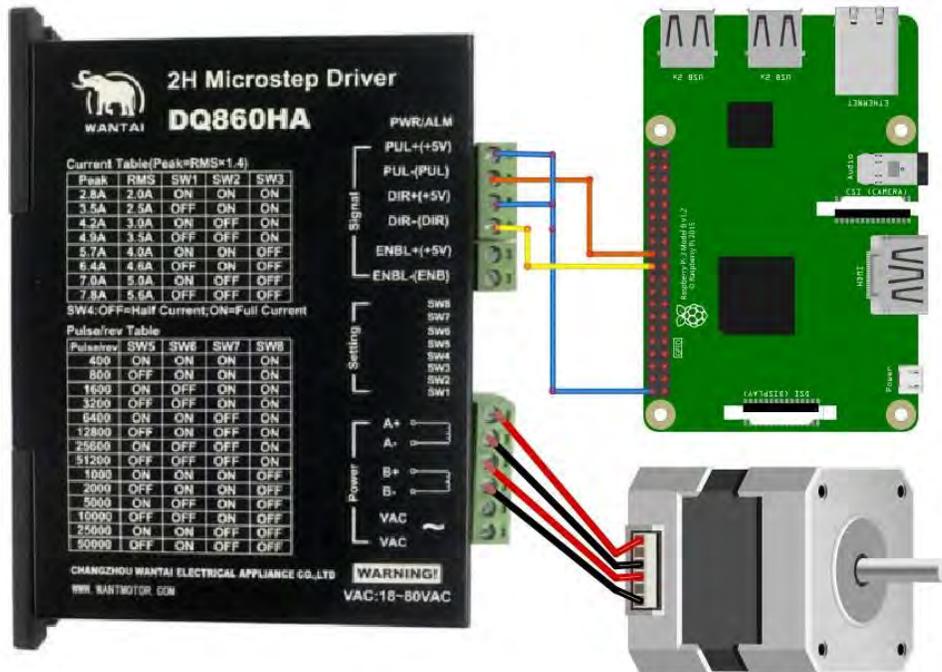
En este punto de la programación del código en Python, ya existía una interacción más interesante con el usuario, sin embargo, aún se tenía que conjuntar las versiones previas del código. Es decir, hacer funcionar al motor a pasos pero que el usuario seleccionara el sentido de giro, el número de pulsos o de revoluciones y la velocidad de rotación. De esta manera se implementaron contadores para el número de pulsos con el propósito de que el algoritmo no se quedara en un bucle infinito y al terminar, se enviara un mensaje al usuario de que había terminado con la operación solicitada y, además, el sistema estuviera habilitado para volver a enviar algún comando de operación indicado por el usuario.

Resultados

- Circuito de conexión.

Los dispositivos físicos que se han descrito anteriormente deben ser conectados entre sí de tal manera que la Raspberry Pi realice las funciones del control del motor a pasos a través del driver DQ860HA. Por lo que el circuito de conexión es el presentado en la Figura 4.

Figura 4. Conexión entre los componentes.



Nota: elaboración propia de los autores.

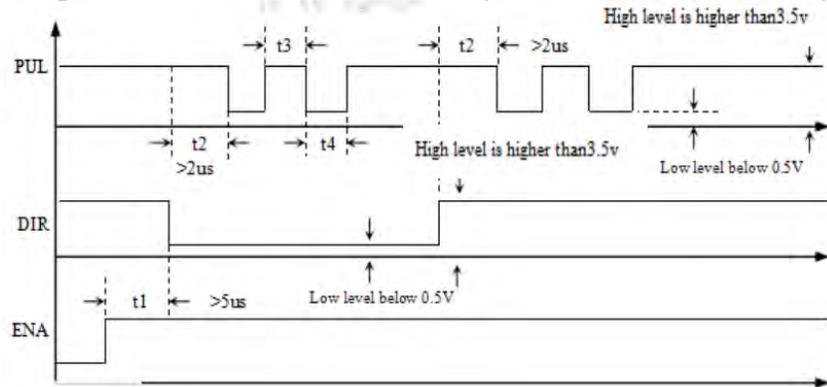
- Algoritmo de programación

El proceso industrial que se ha implementado requiere de código de programación que se ha realizado usando el lenguaje Python sobre una Raspberry Pi. Este código, principalmente consiste en el control de la puesta en marcha del motor a pasos, el cual es configurado por el usuario a través de una interfaz que permite la interacción con el dispositivo. Por lo cual, se identificaron las características técnicas del motor a pasos y del driver DQ860HA que se relacionen con modalidades de operación que el usuario pueda seleccionar o configurar y así, tener la interacción deseada.

En la Figura 5 se muestra la secuencia de señal de control por medio de pulsos que la Raspberry Pi debe enviar al driver DQ860HA para que este a su vez, pueda hacer girar al motor a pasos. Como puede observarse, la Raspberry Pi se conecta con el driver DQ860HA por medio de pines configurados como salida de la RPi para enviar las señales DIR y PUL. Posteriormente debe enviarse la señal DIR para indicar el sentido de giro (horario o antihorario), después se inicia el envío de la señal de pulsos PUL, la cual es generada por la Raspberry Pi ejecutando un ciclo que envía un valor alto durante cierto tiempo y luego envía un valor bajo (0 VCD) durante otro tiempo. Cada vez que el driver DQ860HA recibe un pulso, hace girar al motor a pasos y se requiere de 400 pulsos para dar una vuelta completa. De acuerdo con la frecuencia máxima del pulso generado por el driver de 100 kHz y, además, se requiere un mínimo de 400 pulsos para que el motor a pasos gire 1 revolución completa, se puede calcular que la velocidad máxima que

alcanzaría el motor para cualquiera de los micropasos que sean especificados en el driver, es de 150 revoluciones por minuto (*rpm*).

Figura 5. Diagrama de secuencia de señal de control que recibe el driver desde la Raspberry Pi.



Nota: imagen tomada de la hoja de datos del driver DQ860HA.

Así, el pseudocódigo implementado en la Raspberry Pi es el siguiente:

1. Importar la librería *RPi.GPIO* para controlar los pines *GPIO* de la Raspberry Pi.
2. Importar la librería *time* para gestionar la modulación por ancho de pulso.
3. Desactivar las advertencias de *GPIO* para evitar mensajes no deseados.
4. Configurar el modo de los pines *GPIO* como *BCM*, donde el *GPIO 15* es usado para la señal *DIR* y el *GPIO 14* es usado para la señal *PUL*.
5. Iniciar un bucle:
 - 5.1. Declarar las variables *spin* (sentido de giro), *rev* (RPM del motor), *pul* (cantidad de pulsos a mandar por el *GPIO 14*), *sel* (selección entre cantidad de revoluciones o de pulsos). El usuario introduce los valores que desee a estas variables a través de la interfaz de usuario de la siguiente manera.
 - 5.1.1. Solicitar al usuario la velocidad angular deseada ω para el motor (en un rango permitido de 0-150 rpm).
 - 5.1.2. Verificar si la velocidad ingresada está dentro del rango permitido, de no ser así se mostrará un mensaje de error.
 - 5.1.3. Solicitar al usuario el sentido de giro del motor verificando que elija únicamente una de las dos opciones (horario o antihorario).
 - 5.1.4. Configurar el sentido de giro del motor según la selección del usuario a través del envío de la señal *DIR*.
 - 5.1.5. Solicitar al usuario si desea especificar el número de revoluciones o de pulsos verificando que elija únicamente una de las dos opciones.
 - 5.1.6. Calcular el período T de la señal de pulsos en función de la velocidad ingresada.

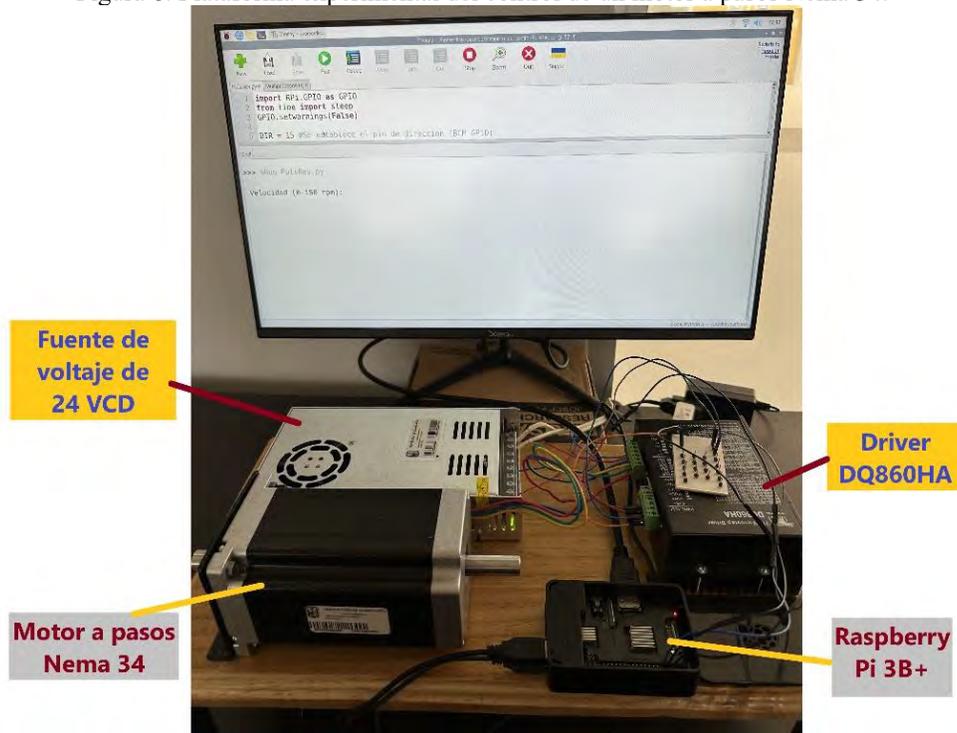
$$T = \frac{3}{20 \cdot \omega}$$
 - 5.1.7. Si se elige especificar el número de revoluciones:
 - 5.1.7.1. Solicitar al usuario el número de revoluciones deseadas validando que sea un valor mayor a cero.
 - 5.1.7.2. Calcular el número de pulsos requeridos para las revoluciones ingresadas (400 pulsos por revolución).
 - 5.1.7.3. Generar los pulsos necesarios para completar las revoluciones:
 - 5.1.7.3.1. Configurar el pin *GPIO 15* como alto para manejar la señal de pulsos *PUL* e iniciar el pulso.
 - 5.1.7.3.2. Esperar la mitad del periodo ($T/2$) para mantener el estado alto.
 - 5.1.7.3.3. Configurar el pin *GPIO 15* como bajo para manejar la señal de pulsos *PUL* y finalizar el pulso.
 - 5.1.7.3.4. Esperar la mitad del periodo ($T/2$) para mantener el estado bajo.
 - 5.1.8. Si se elige especificar el número de pulsos:
 - 5.1.8.1. Solicitar al usuario el número de pulsos deseados validando que sea un valor mayor a cero.
 - 5.1.8.2. Generar los pulsos determinados por el usuario.

- 5.2. Mostrar en pantalla un mensaje de haber concluido el proceso indicado por el usuario.
- 5.3. Regresar al paso 5.1.1 para reiniciar una nueva configuración de control del motor a pasos.

- Plataforma experimental

Para propósitos de dar evidencia con resultados experimentales del enfoque propuesto, se ha diseñado y construido una plataforma donde se han colocado los dispositivos descritos en la sección anterior siguiendo la conexión entre ellos como lo refiere la Figura 4. En la Figura 6 se muestra la apariencia física de la plataforma experimental, donde a través del teclado el usuario interactúa con el dispositivo físico.

Figura 6. Plataforma experimental del control de un motor a pasos Nema 34.



Nota: elaboración propia de los autores.

Discusión

En este trabajo se ha logrado el control de un motor a pasos Nema 34 de tipo industrial a través de la aplicación de tecnología frugal tanto de software de código abierto como de hardware de código abierto, obteniendo un sistema de control de bajo costo y con interacción con el usuario que puede configurar las características de operación del motor a pasos, como se muestra en la Figura 7a.

En comparación con resultados reportados en la literatura, relacionados directamente con el trabajo realizado, es importante destacar que en Yilmazlar et al., 2018 se ha reportado el diseño de una interfaz de usuario en un software bajo licencia, y el motor a pasos que se controla no es de tipo industrial. Respecto a los resultados reportados en Khairudin et al., 2020, Ghani et al., 2021, Kriswanto, 2021, Emad et al, 2021 y Cámara, 2020; en estos trabajos se desarrolla el control de un motor a pasos de tipo industrial, pero no se ha diseñado una interfaz de usuario como en el trabajo que se ha descrito en este artículo. Por último, en un trabajo más similar al realizado en este documento, Fukumoto et al., 2020 controla un motor a pasos que no es de tipo industrial y la interfaz de usuario solo permite interactuar con el número de pulsos y el ancho del pulso.

Por lo que en este trabajo que se ha desarrollado se han conjuntado ambas características de la aplicación de tecnología frugal en ingeniería, uso de software y hardware de código abierto, haciendo énfasis en la interacción que se logra con el usuario, como se destaca en la Figura 7b. Además, el usuario tiene la posibilidad de realizar una nueva configuración del control del motor a pasos cada vez que finaliza una ejecución. En las Figuras 7a y 7b se resalta que el usuario

cambia el sentido de giro, además de que el control que se ha codificado permite que el usuario seleccione la cantidad de revoluciones que deberá girar el motor. El video de la ejecución de este control del motor a pasos puede ser consultado en el enlace:

https://drive.google.com/file/d/1dAR19Xr6PmPjwwAagcdRjSw8MNO4Ewmf/view?usp=drive_link

El correcto funcionamiento de la plataforma experimental que se ha logrado permitirá llevar a cabo prácticas de laboratorio en cursos de licenciatura relacionados con el control industrial, más aún, al ser una plataforma abierta, es posible servir como base de investigación y desarrollo tecnológico donde se pueda implementar herramientas de las tecnologías de la industria 4.0, entre otras.

Figura 7a. Usuario interactuando con el control del motor a pasos.

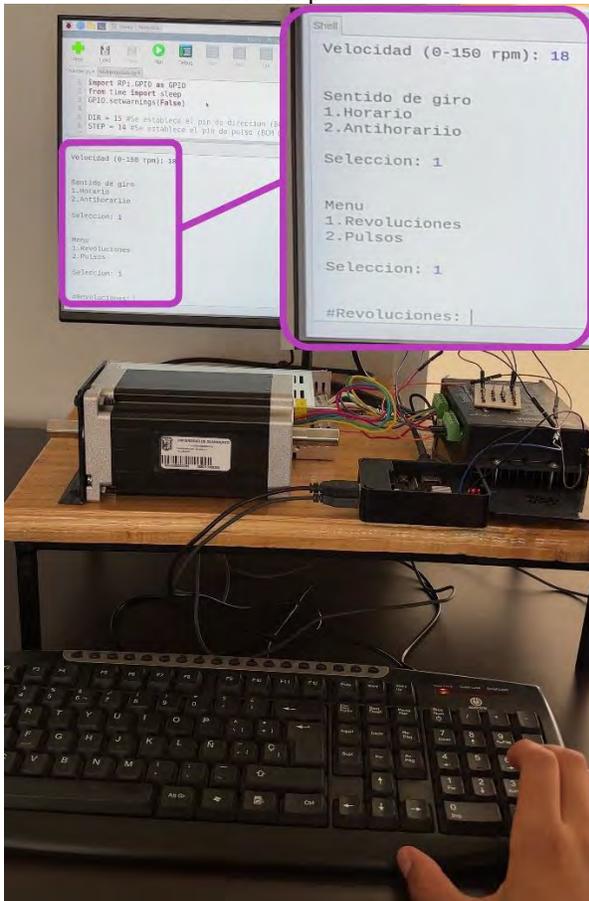
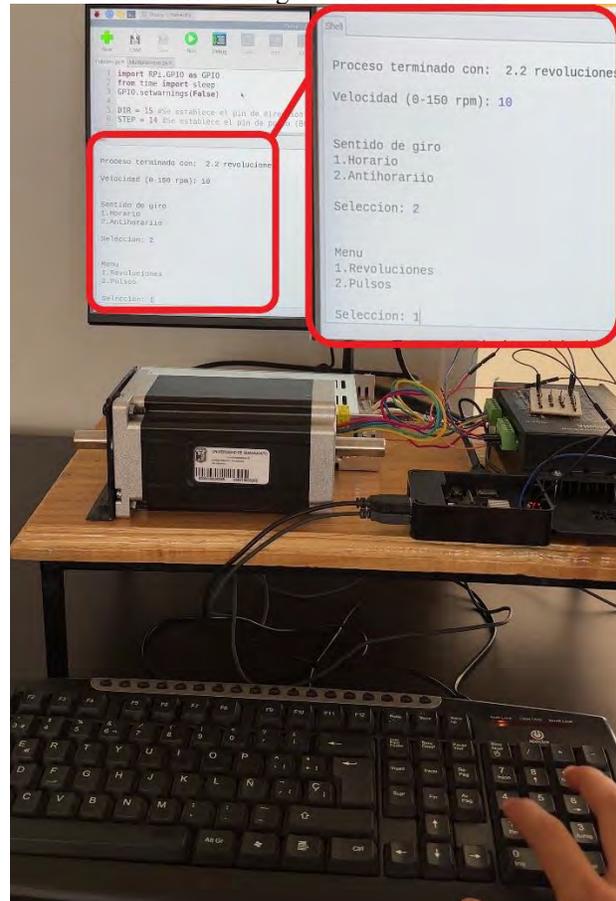


Figura 7b. El primer proceso de control ha concluido y el usuario configura un nuevo control.



Nota: elaboración propia de los autores.

Conclusiones

El control de un motor a pasos de tipo industrial Nema 34, donde se habilita al usuario la posibilidad de configurar la modalidad del control y realizarlo de manera cíclica, es posible implementarlo por medio de la aplicación de tecnología frugal de bajo costo, es decir, a través de software y hardware de código abierto como lo es el lenguaje de programación Python en una minicomputadora Raspberry Pi. Se ha construido una plataforma experimental que permite el control del motor a pasos de tipo industrial con interacción con el usuario que puede repetir la modalidad de control que desee cada vez que finaliza la ejecución del control dado. Esta plataforma experimental habilita la posibilidad de ser usada como equipo de laboratorio en la educación de la ingeniería en unidades de aprendizaje relacionadas con el control industrial. En trabajos futuros se implementarán acciones de monitoreo y registro de datos con la finalidad de que se complemente un sistema de control, adquisición y almacenamiento de datos, comúnmente conocido como sistema SCADA, por sus siglas en inglés.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad de Guanajuato por el apoyo brindado para la realización de este trabajo a través de la Convocatoria Institucional de Investigación Científica 2024.

Referencias bibliográficas

- Alex David, S.; Ravikumar, S.; Rizwana Parveen, A. Raspberry Pi in computer science and engineering education. In *Intelligent Embedded Systems*; Springer, 2018; pp. 11–16.
- Bonvoisin, J., Mies, R., y Boujut, J. F. (2021). Seven observations and research questions about Open Design and Open Source Hardware. *Design Science*, 7, pp. e22.
- Cámara, J. I. (2020). Diseño, realización y control de un robot autoequilibrado de bajo coste basado en una Raspberry Pi. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, *Universidad de Sevilla*.
- Choi, H.; Crump, C.; Duriez, C.; Elmquist, A.; Hager, G.; Han, D.; Hearl, F.; Hodgins, J.; Jain, A.; Leve, F.; et al. On the use of simulation in robotics: Opportunities, challenges, and suggestions for moving forward. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021(118).
- DQ860HA Controlador Drive Nema 17, 23, 34 7.2A. (s.f.). lionchip. Recuperado el 15 de mayo de 2024, de <https://www.lionchipmexico.com/product-page/controlador-drive-motor-a-pasos-nema-17-23-34-d-860-driver>
- Emad, E., Alaa, O., Hossam, M., Ashraf, M., y Shamseldin, M. A. (2021). Design and implementation of a low-cost microcontroller-based an industrial delta robot. *WSEAS Transactions on Computers*, 20, pp. 289-300.
- Fernández-Pacheco, A.; Martin, S.; Castro, M. Implementation of an Arduino remote laboratory with raspberry Pi. In *Proceedings of the 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE, 2019, pp. 1415–1418.
- Fuentes, P.; Camarero, C.; Herreros, D.; Mateev, V.; Vallejo, F.; Martinez, C. Addressing Student Fatigue in Computer Architecture Courses. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2022.
- Fukumoto, H., Yamaguchi, T., Ishibashi, M., y Furukawa, T. (2020). Developing a remote laboratory system of stepper motor for learning support. *IEEE Transactions on Education*, 64(3), 292-298.
- Gameess, E., y Hernandez, S. (2022). Performance evaluation of different Raspberry Pi models for a broad spectrum of interests. *International Journal of Advanced computer science and applications*, 13(2).
- Ghani, S. A. C., Kettner, M., Aslan, F., Dzharuddin, F., y Sazali, N. (2021). Smart driving assistance system using Raspberry Pi and actuator networks. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1068(1), pp. 012022.
- Hannig, F., y Teich, J. (2021). Open source hardware. *Computer*, 54(10), pp. 111-115.
- Hossain, M., Agarwal, N., Bhatti, Y., y Levänen, J. (2022). Frugal innovation: Antecedents, mediators, and consequences. *Creativity and Innovation Management*, 31(3), 521-540.
- Jayabalan, J.; Dorasamy, M.; Raman, M. Reshaping higher educational institutions through frugal open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2021(7), pp. 145.
- Karim, M. Z. B. A., y Thamrin, N. M. (2022). Servo Motor Controller using PID and Graphical User Interface on Raspberry Pi for Robotic Arm. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2319(1), p. 012015. IOP Publishing
- Khairudin, M., Asnawi, R., y Shah, A. (2020). The characteristics of TB6600 motor driver in producing optimal movement for the Nema23 stepper motor on CNC machine. *Telkomnika*, 18(1), 343-350.
- Kriswanto, K., Karsan, K., Al-Janani, D. H., Roziqin, A., Hangga, A., Fathoni, K., y Wijayanto, B. (2021). Design and performance of the raspberry pi control system on packaging machine capacity 2400 Pcs/h. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi Dan Pembelajaran*, 19(1), pp. 1-10.
- Kwon, J.; Park, D. Hardware/software co-design for tinyml voice-recognition application on resource frugal Edge Devices. *Applied Sciences*, 2021(11), pp. 11073.
- Lotfi, N.; Auslander, D.; Rodriguez, L.A.; Mbanisi, K.C.; Berry, C.A. Use of Open-source Software in Mechatronics and Robotics Engineering Education—Part I: Model Simulation and Analysis. *Computers in Education Journal*, 2021(12).
- Mbanisi, K.C.; Auslander, D.M.; Berry, C.A.; Rodriguez, L.A.; Molki, M.; Lotfi, N. Promoting Open-source Hardware and Software Platforms in Mechatronics and Robotics Engineering Education. In *Proceedings of the 2020 ASEE Virtual Annual Conference Content Access*, 2020.
- Nema 34 Motor a Pasos 115Kg/cm Doble Eje. (s.f.). Lionchip. Recuperado el 15 de mayo de 2024, de <https://www.lionchipmexico.com/product-page/motor-de-paso-stepper-nema-34-cnc-impresora-3d-doble-eje-lionchip>

- Park, Y. Development of an Educational Code of Deriving Equations of Motion and Analyzing Dynamic Characteristics of Multibody Closed Chain Systems using GNU Octave for a Beginner. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 2022(8), pp. 232–244.
- Raikar, M.M.; Desai, P.; Vijayalakshmi, M.; Narayankar, P. Upsurge of IoT (Internet of Things) in engineering education: A case study. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. IEEE, 2018, pp. 191–197.
- Ramchandra, Y., Salim, M., Ankush, T., y Vasantao, P. (2021). Self-balancing robot using Raspberry Pi and PID controller. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 6(4), 321-322.
- Raspberry Pi 3B+. (s.f.). Raspberrypi.com. Recuperado el 15 de mayo de 2024, de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Salgues, B. (2018). *Society 5.0: industry of the future, technologies, methods and tools*. John Wiley & Sons.
- Saluja, M.K.; Thakur, S. Open Source Software Based Education and Training Framework for Software Engineering Education. *Solid State Technology*, 2020(63), pp. 9633–9645.
- Sanchez, R.; Groc, M.; Vuillemin, R.; Pujo-Pay, M.; Raimbault, V. Development of a Frugal, In Situ Sensor Implementing a Ratiometric Method for Continuous Monitoring of Turbidity in Natural Waters. *Sensors*, 2023(23), pp. 1897.
- Škraba, A., Stanovov, V., y Semenkin, E. (2020). Development of control systems kit for study of PID controller in the framework of cyber-physical systems. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 734, (1), p. 012105. IOP Publishing.
- Sowinski, P.; Rachwał, K.; Danilenka, A.; Bogacka, K.; Kobus, M.; Dąbrowska, A.; Paszkiewicz, A.; Bolanowski, M.; Ganzha, M.; Paprzycki, M. Frugal Heart Rate Correction Method for Scalable Health and Safety Monitoring in Construction Sites. *Sensors*, 2023(23), pp. 6464.
- Tapaskar, R.; Revankar, P.; Gorwar, M.; Hosmath, R. Pedagogical Interventions through Software Tools in Postgraduate Engineering Programme. *Journal of Engineering Education Transformations*, 2018(31).
- Troisi, O., Visvizi, A., y Grimaldi, M. (2023). Rethinking innovation through industry and society 5.0 paradigms: a multileveled approach for management and policy-making. *European Journal of Innovation Management*, 27(9), pp. 22-51.
- Vaca, N.; Garcia-Loro, F.; Martin, S.; Rodriguez-Artacho, M. Raspberry Pi Applications in Electronics and Control Laboratories. In *Proceedings of the 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE, 2022, pp. 1709–1713.
- Wajid, B.; Ekti, A.R.; AlShawaqfeh, M.K. Ecebuntu-an innovative and multi-purpose educational operating system for electrical and computer engineering undergraduate courses. *Electrica*, 2018(18), pp. 210–217.
- Yılmazlar, E., Kuşçu, H., Erdemir, V., y Güllü, A. (2018). Design Of Stepper Motor Control Interface With Embedded Systems. *International Journal of Engineering Research and Development*.



<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a3>

<https://www.facebook.com/avacient>

LA HUELLA ECOLÓGICA EN LOS DESTINOS TURÍSTICOS DE QUINTANA ROO: RAZÓN PARA FOMENTAR EL TURISMO COMUNITARIO

Crucita Aurora Ken Rodríguez¹, Daniel Vargas García²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 30/06/2024 Aceptado: 07/07/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a4>

Resumen.- El turismo de sol y playa que coincide con el de masas está repercutiendo en el patrimonio natural de los destinos más concurridos. Quintana Roo, por excelencia, atrae este tipo de turismo, desde Cancún hasta Bacalar, es el tipo de turismo más recurrido por los visitantes y es apoyado por el gobierno en programas de mercadotecnia turística. Existe, iniciativas de turismo rural, sustentable en todo el territorio que no recibe mayor atención de las políticas públicas. Este estudio exploratorio presenta una revisión de la literatura sobre la huella ecológica, el turismo de masas y el comunitario, luego esboza resultados de estudios de la huella ecológica causada por el turismo de masas en Quintana Roo y finalmente señala resultados de investigaciones sobre el turismo comunitario en Quintana Roo y su relación con la sustentabilidad. El objetivo de este estudio es esbozar la huella ecológica causado por los destinos turísticos de Quintana Roo y la posibilidad de mitigación por medio del turismo comunitario. Se trabaja con datos estadísticos y documentos disponibles. Lo anterior permite definir que el rumbo sustentable del turismo en Quintana Roo es el turismo comunitario al provocar una menor huella ecológica.

Palabras Clave: Ecología, sustentabilidad, comunidades, cultura, bienestar

THE ECOLOGICAL FOOTPRINT IN TOURIST DESTINATIONS OF QUINTANA ROO: A REASON TO PROMOTE COMMUNITY TOURISM

Abstract.- Sun and beach tourism that coincides with mass tourism is impacting on the natural heritage of most popular destinations. Quintana Roo, par excellence, attracts this type of tourism, from Cancun to Bacalar, it is widely used by visitors and supported by the government through tourism marketing programs. However, there are, increasingly, rural, sustainable tourism initiatives throughout the territory that do not receive greater attention in the public tourism promotion policies. This exploratory study first presents a literature review of ecological footprint, mass tourism and community tourism, secondly, it outlines results of studies on ecological footprint caused by mass tourism in Quintana Roo and thirdly it points out results of research on community tourism in Quintana Roo and its relationship with sustainability. The objective of this study is to outline the ecological footprint caused in tourist destinations in Quintana Roo and the possibility of mitigation through community tourism. The study is based on statistical data and documents available on ecological footprint, mass and community tourism. The above will highlight that sustainability in Quintana Roo can be achieved through community tourism, causing a smaller ecological footprint.

Keywords: Ecology, sustainability, communities, culture, wellbeing.

Introducción

En esta última década, la actividad turística ha representado una nueva área de análisis desde la perspectiva de la huella ecológica (HE) lo cual se ha convertido en un indicador clave para evaluar los impactos ambientales del turismo tanto a nivel local y global en pos de la conservación, el consumo de recursos y de las prácticas sustentables (Mancini, 2018). El estudio de la HE se hace necesario puesto que plantea como principal tema la comprensión integral de los impactos en el medio ambiente, la situación específica del uso de suelos y la aplicación de la capacidad de carga del sistema ecológico (Castellani & Sala, 2012). La HE permite estimar de forma agregada la demanda ejercida sobre la productividad biofísica y la capacidad de asimilación del desperdicio impuesto sobre el medio ambiente causado por el modo de vida de los humanos (Hunter & Shaw, 2007) y la consecuencia de sus actividades económicas.

¹ Profesora Investigadora. Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. LGAC Dinámica territorial y turismo. SNII nivel 1. <https://orchid.org/0000-0002-9673-2745> cruken@uqroo.edu.mx. (**Autor correspondiente**)

² Doctorante en Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. LGAC Desarrollo sostenible y turismo. <https://orcid.org/0009-0009-4847-5228> daniel.vargas@uqroo.edu.mx.

La importancia de la HE radica en que es utilizada para el estudio integral y agregado de los efectos del turismo en destinos importantes (Hunter & Shaw, 2007; Castellani & Sala, 2012; Roumiani, et, al, 2023) usando como base las directrices del turismo sustentable. Se hace el énfasis en la importancia de utilizar los conceptos y técnicas de estos estudios en el análisis del turismo sustentable tanto para avanzar en el estudio y como medida para evitar reinventar las prácticas del desarrollo sustentable. El estudio de la HE ha sido identificado como un método propicio para evaluar el turismo sustentable y más aún para el estudio a nivel subnacional por su facilidad en tratar con destinos o sectores específicos, los cuales son críticos para la obtención de datos fehacientes y, por ende, resultados significativos (Castellani & Sala, 2012). Por la relación que existe entre HE y el turismo sustentable, se puede inferir que el turismo de masas (TM), al no ser sustentable, provoca mayor HE.

En Quintana Roo es necesario estudiar la HE que el turismo de masas ha causado y buscar alternativas para la actividad turística que resulte en menor HE a través del uso de los recursos naturales, pero con prácticas sustentables. Una alternativa ya puesta en marcha en Quintana Roo es el turismo comunitario (TC) que está sucediendo principalmente en las zonas rurales y específicamente en la zona maya de Quintana Roo. Este tipo de turismo es sustentable y sostenible debido a que es selectivo, de baja intensidad que depende del cuidado de la naturaleza pues esta constituye su activo más importante. El surgimiento del TC hace referencia principalmente a una actividad sustentada en emprendimientos productivos donde la propiedad y gestión de los recursos patrimoniales se llevan a cabo por la comunidad (Cabanilla, 2018) con arreglo a prácticas de participación social colectiva y solidarias en el trabajo (Cáceres-Feria, et., al, 2021) y en la distribución de los beneficios generados por la prestación de servicios con miras a fomentar encuentros interculturales de calidad con los visitantes (Maldonado, 2005). Desde la perspectiva de los usuarios, el TC fomenta valores de conservación de la naturaleza y el medio ambiente (Arámburo y Olmos, 2024) al tiempo que promueve la integración sociocultural con la comunidad local mientras que, desde la perspectiva de la comunidad anfitriona, los actores tienen un control importante en su desarrollo y manejo (Cabanilla, 2018); adquieren mayor conciencia sobre la conservación (Bojórquez-Vargas, et., al, 2018) y una proporción sustancial de los beneficios se quedan en la propia comunidad. En este sentido el TC representa una actividad desde la cual es posible endogeneizar (Kieffer, 2018) y distribuir de mejor manera los recursos generados en su escala local (Palomino et al., 2016).

Por lo consiguiente, el objetivo de esta investigación es esbozar la huella ecológica causada en los destinos turísticos de Quintana Roo y la posibilidad de mitigación por medio del turismo comunitario. Se parte de la premisa que, debido a los fundamentos sustentables del TC y su puesta en práctica por las comunidades de la zona maya de Quintana Roo, se puede constituir en el tipo de turismo idóneo para mitigar la HE causada por el turismo de masas en este territorio. Por consiguiente, la hipótesis es que el TC es idóneo para Quintana Roo dado que produce menor HE que el TM.

Materiales y métodos

Debido a que este estudio ofrece la puesta en marcha de los primeros pasos para el abordaje analítico y empírico de la HE en el turismo de masas y el TC en Quintana Roo, la metodología es de tipo descriptivo porque se basó en la revisión de literatura sobre HE, TM y TC y en la presentación de datos estadísticos y documentales sobre los temas en el caso específico de Quintana Roo. Es un estudio cualitativo en cuanto se buscó presentar los efectos del TM en la HE confrontándola con el TC desde la perspectiva de la sustentabilidad. Dado que este estudio es exploratorio, abre diversas posibilidades de futuras investigaciones más específicos o sectoriales de la HE en Quintana Roo y alternativas para remediarlo.

La metodología se desarrollará en tres etapas, dando respuesta a los objetivos específicos de este estudio exploratorio. En primer lugar, se hizo una revisión documental de la HE, el TM y el TC, en segundo lugar, se presentó resultados de estudios de la HE causada por el TM en QR y en tercer lugar resultados de investigaciones sobre el TC en Quintana Roo y su relación con la sustentabilidad.

Resultados

La HE conceptualiza a una población o una economía que contiene un “metabolismo industrial”, dado su consumo de recursos y producción de desperdicios para sostenerse, de tal manera que se apropia de un espacio planetario en ese proceso, y el turismo se conceptualiza como una industria. Hay que mencionar que el turismo considerado como industria surge desde muchos años atrás, siendo uno de los primeros exponentes Norval (1936) al plantear los factores determinantes que lo caracterizaba como tal, mientras que Morillo (2011) relaciona el turismo como industria con el turismo de masas. La HE reconoce que el espacio planetario sustenta una capacidad de carga y que puede ser analizado por el impacto que el humano imprime sobre él (Hunter & Shaw, 2007). Según Mancini (2018), la metodología de la HE ha sido desarrollada y estandarizada para constituirse en una guía robusta y validada, capaz de medir tanto la

apropiación humana de espacios (lado de la demanda) y la provisión natural con su capacidad de carga de la biosfera (lado de la oferta) que proveen servicios ecosistémicos claves. Mientras que para Castellani & Sala (2012) el modelo conceptual de los sistemas turísticos y sus evaluaciones de sustentabilidad consiste, en primera instancia, en seccionar las actividades turísticas y sus correspondientes procesos de toma de decisiones desde un enfoque sustentable y, en segundo lugar, de formular una propuesta del uso potencial combinado del ciclo de vida del turismo a partir de una evaluación participativa de la HE.

Para Morillo (2011) el TM surge por la existencia de numerables factores entre los que se encuentra el acceso a medios de transporte, la devaluación de la moneda en ciertos países, la mejoría en los salariales, las vacaciones pagadas, las facilidades de financiamiento de los viajes, incluyendo la mejoría en el nivel cultural de las masas, entre otros. En este sentido coincide con el surgimiento del turismo de masas propiciado por el modo de producción fordista (Monterrubio, et., al, 2018) que dio surgimiento al enclave turístico por el control del mercado de hospedaje por las grandes cadenas hoteleras. Así mismo Khatun (2023) define el TM como aquel donde muchas personas viajan a destinos de renombre para conocer, relajarse y pasar tiempo de calidad, y donde encuentran alojamiento cómodo, alimentos y bebidas adecuadas y facilidades de transporte.

La amplia demanda que representa el TM exige el uso de recursos cuantiosos para equipararla con la oferta, que se basa en proveer numerosos bienes y servicios que impactan en los recursos naturales utilizados que incluye el uso del agua y energía eléctrica acompañado de la generación de basura en forma de residuos sólidos y líquidos. Según los estudios de Balsalobre (2020), el uso de fuentes fósiles y de actividades que contaminan, retrasa la conexión óptima entre la industria turística y el crecimiento económico, lo que sugiere que los efectos negativos del turismo se podrían resolver con la adopción de regulaciones energéticas y ambientales cuando este comience a manifestar cierto cambio.

Consecuentemente, Carabelli, et.al., (2012) aseguran que la HE actúa como un indicador de sustentabilidad fuerte, al vincular directamente los consumos de distintos productos, bienes y servicios por parte de una sociedad con el capital natural y se le pone relevancia a los riesgos que conlleva su sobreutilización. El turismo de masas es especialmente impactante en la ecología de los destinos por la diversidad y magnitud de los servicios y productos que se ofrecen, sobre todo cuando su ubicación está en ecosistemas esenciales como es el caso de las zonas costeras.

Estas consecuencias del TM y otras de naturaleza socioeconómicas han llevado a la crítica actual del TM y la búsqueda de alternativas más viables que se pueden conjugar en la propuesta de turismo sustentable. Por consiguiente, el surgimiento del TC para detonar el desarrollo sostenible integral se relaciona con más de un aspecto a considerar (Orgaz, 2013), en primer lugar, se evidencia que la mayoría de las comunidades rurales están explorando actividades alternativas a las convencionales en aras de identificar nichos para complementar el ingreso y empleo de la población rural. En segundo lugar, los territorios propiedad de comunidades campesinas e indígenas, albergan importantes recursos forestales, mineros, energéticos y agrícolas que se han visto inmersos en una creciente mercantilización debido a los proyectos de inversión desplegados por el Estado y empresas privadas nacionales y transnacionales, lo que ha generado modelos extractivos, procesos de despojo, desplazamientos involuntarios de población y profundos impactos ambientales y ecológicos.

El TC, contrasta con el TM por la incorporación de la población en la toma de decisiones en materia económica, social y ambiental. Con base en Coraggio (2016), la presencia de principios fundamentales del TC se centra en promover un enfoque participativo, sostenible y equitativo en la gestión y desarrollo del turismo, con el objetivo de beneficiar directamente a las comunidades locales y respetar su patrimonio cultural y natural. Aunque pueden variar ligeramente según el contexto y la comunidad específica, ya que justamente este modelo opta por diferenciarse de la forma convencional de hacer turismo. Aquí señalamos algunos principios comunes.

El TC es una actividad que se desarrolla directamente con la población y se basa en la gestión del territorio a través de la participación de la comunidad local en las actividades turísticas con la intención de obtener réditos económicos (Ullauri et al., 2018). Las comunidades locales consideran esta oportunidad para mejorar su calidad de vida mediante la práctica de su cultura, y el aprovechamiento de sus recursos patrimoniales y naturales. Además, hay que considerar tres conceptos que se vinculan con el TC: comunidad, convivencialidad, cotidianidad (Henríquez et al., 2010).

Figura 1. Recopilación de principios fundamentales del turismo comunitario.

Participación comunitaria
<ul style="list-style-type: none"> • Involucra activamente a los residentes locales en todas las etapas del proceso turístico, desde la planificación y toma de decisiones hasta la implementación y evaluación. El turismo se gestiona de manera democrática y responde a las necesidades de la comunidad.
Beneficio económico local
<ul style="list-style-type: none"> • Busca maximizar los beneficios económicos para la comunidad local (creación de empleo, generación de ingresos y oportunidades comerciales). Se prioriza la contratación de servicios y la compra de productos locales siempre que sea posible.
Conservación del patrimonio
<ul style="list-style-type: none"> • Se promueve la conservación y protección del patrimonio cultural, histórico y natural de la comunidad. Busca valorar y preservar la identidad cultural y los recursos naturales, evitando su explotación o degradación.
Interacción cultural
<ul style="list-style-type: none"> • Se fomenta el intercambio cultural auténtico y respetuoso entre visitantes y residentes locales. Promueve experiencias que permitan a los visitantes aprender el estilo de vida de la comunidad, a su vez, los residentes pueden beneficiarse de la interacción.
Desarrollo sostenible
<ul style="list-style-type: none"> • Basado en prácticas turísticas sostenibles para minimizar el impacto ambiental y promueven la conservación del entorno natural. Busca el equilibrio entre el desarrollo turístico y garantizar la viabilidad a largo plazo de la actividad.
Empoderamiento de la comunidad
<ul style="list-style-type: none"> • El busca empoderar a los residentes locales, fortaleciendo sus capacidades y habilidades de gestión. Se promueve el liderazgo local, la formación y la participación activa en la toma de decisiones.

Nota: Elaboración propia con información de Coraggio (2016).

La comunidad se construye sobre el afecto ya que genera confianza y seguridad para quienes forman parte de ella, por lo que es fundamentalmente un modo de relación social, un modelo de acción intersubjetivo en donde se comparten fines, valores y lealtad. Es algo más sentido que sabido, más emocional que racional (Diéguez & Guardiola, 1998), por lo que impacta en el contexto organizativo, en el cual los individuos forman parte de una gestión social que permite la interacción de estos (Ruiz et al., 2008). Por otro lado, la convivencialidad data de Illich (1973), quien la halló en sociedades basadas en la cooperación y la autonomía. En el contexto del TC, implica la creación de espacios de encuentro y diálogo entre visitantes y residentes locales, donde se promueve el intercambio cultural y se respeten las diferencias, en donde prima las relaciones horizontales, en las que cada individuo tiene la capacidad de contribuir activamente a la vida social y económica de su comunidad. Mientras que la cotidianidad hace referencia a la vida en general de una población (Brecher, 2014), en la que se desarrollan actividades de acuerdo con un tiempo y espacio fluctuantes al incorporar los usos, costumbres, tradiciones, además de la organización del trabajo, medios de comunicación y tecnologías utilizadas en su realidad diaria (Henríquez et al., 2010) que en términos generales se considera patrimonio tangible e intangible. En la actualidad la cotidianidad contiene aspectos importantes para el TC, que con los años se ha desarrollado en diferentes lugares del mundo como una actividad complementaria, sin perjudicar las actividades cotidianas como la agricultura por lo que la población logra mantener sus relaciones sociales organizativas fortaleciendo el vínculo de comunidad.

Con base en la revisión de la literatura, es necesario evaluar al TC en base a los criterios de la sustentabilidad que son aplicables a cada comunidad de manera que potencializa el desarrollo sostenible integral de las sociedades contribuyendo a un impacto menor en la HE provocado por el turismo.

Tabla 1. Los principales aspectos que interrelacionan los conceptos del turismo comunitario y la huella ecológica.

Aspecto:	Turismo Comunitario:	Relación con la Huella Ecológica:	Prácticas o estrategias
Gestión de Recursos Naturales	Uso sostenible de recursos locales para actividades turísticas, como agua, madera, y alimentos.	Minimizar el consumo de recursos y evitar la sobreexplotación para reducir la presión sobre los ecosistemas locales.	Agricultura sostenible y pesca responsable.
Diseño de Infraestructura	Desarrollo de infraestructuras que respeten el entorno y reflejen la cultura local.	Utilizar materiales locales y técnicas de construcción ecológicas para reducir la huella de carbono y el impacto ambiental.	Edificaciones con materiales reciclados o tradicionales como con ecovillas o centros comunitarios.
Energía y Agua	Promoción de energías renovables y técnicas de ahorro de agua en instalaciones turísticas: energía solar y recolección de agua de lluvia.	Reducción del consumo de energía y agua mediante la adopción de tecnologías sostenibles, lo que disminuye la huella ecológica.	Uso de paneles solares y sistemas de riego eficientes.
Residuos y Emisiones	Implementación de sistemas de gestión de residuos sólidos y reducción de emisiones,	Disminuir la generación de residuos y las emisiones de CO ₂ para reducir el impacto ambiental y la huella ecológica.	Programas de reciclaje / compostaje en establecimientos turísticos y transporte ecológico
Conservación de la Biodiversidad	Integración de actividades turísticas que promuevan la conservación y el conocimiento de la biodiversidad local	Proteger los ecosistemas y evitar la degradación de hábitats naturales para mantener la biodiversidad, reduciendo la HE.	Nombramiento de Reservas naturales y experiencias en ecoturismo: senderismo y avistamiento de fauna.
Consumo Local	Fomento del uso de productos y servicios locales en la oferta turística.	Reducir la HE al disminuir las necesidades de transporte y apoyar la producción local sostenible.	Menús con ingredientes locales y tiendas de artesanía y guías locales.
Educación y Conciencia	Ofrecimiento de programas educativos y talleres para turistas sobre prácticas sostenibles y la importancia de la conservación.	Aumentar la conciencia ambiental entre turistas y residentes para fomentar prácticas que reduzcan la HE.	Talleres de educación ambiental y visitas guiadas enfocadas en sostenibilidad
Turismo de Bajo Impacto	Diseño de actividades turísticas que minimicen el impacto en el entorno, como caminatas guiadas y visitas culturales.	Minimizar la perturbación del entorno natural y reducir la presión sobre los recursos locales, manteniendo una baja HE.	Turismo no invasivo y limitado en áreas sensibles.
Comunidad y Gobernanza	Participación de la comunidad en la planificación y gestión del turismo con prácticas sostenibles y beneficiosas localmente.	Implementación de políticas y prácticas de gestión que incluyan la reducción de la huella ecológica como objetivo.	Planes de manejo sostenible y gobernanza comunitaria en proyectos turísticos.

<p>Desarrollo Económico Local</p>	<p>Generación de ingresos a través del TC que se reinvierten en la comunidad para mejorar la infraestructura y los servicios.</p>	<p>Fomento de una economía local más robusta que no dependa de recursos externos, reduciendo la huella ecológica</p>	<p>Inversiones en proyectos comunitarios y mejoras en servicios locales.</p>
--	---	--	--

Nota: Elaboración propia con base a autores revisados

La forma en la que podemos enlazar de manera intrínseca el TC con la dinámica que arroja la conceptualización de la HE están conectados a través del enfoque de la sustentabilidad y la gestión responsable de los recursos naturales. Analizar y reducir la HE en el contexto del TC es esencial para asegurar que las actividades turísticas sean ambientalmente sustentables y beneficien tanto a la comunidad local como al entorno natural, dejando atrás el TM que exige el uso de recursos como agua y energía eléctrica además de los de la naturaleza. Es por ello por lo que, desde hace ya un tiempo, autores como Chávez Diagostino et al, (2006), señalan que con todas estas nuevas aplicaciones de HE la contribución principal sería la capacidad de formular actividades turísticas, actuales o potenciales haciendo la consideración de alguno termino como pueden ser la demanda ecológica, que viene sustituyendo a la capacidad de carga, a veces utilizada en estudios relacionados con el turismo.

La huella ecológica y el turismo de masas en Quintana Roo

Rasekhi & Mohammadi (2015) advierten que, dado que los problemas ambientales de largo plazo no pueden ser resueltos a través de la rápida aplicación de tecnología, el crecimiento permanente del turismo en Quintana Roo amerita la implementación de programas que concienticen sobre la correlación entre la protección del ambiente y el crecimiento económico.

Para estimar la HE del turismo de masas en Quintana Roo es esencial tomar en cuenta la población que en 2020 fue de 1,857,985 habitantes (INEGI, 2020), mismos que tiene acceso a reservas de costas, lagos, ríos, humedales, arrecifes, entre otras, por la ubicación geográfica en el ecosistema costero del Caribe mexicano. Esta posición privilegiada permitió que el territorio se haya convertido en un destino turístico importante a nivel global y una fuente de empleo a nivel regional. Tal importancia ubica la población y al turismo de Quintana Roo con potencial de marcar las pautas en el turismo internacional, regional y nacional. Sin embargo, hay numerosos aspectos ambientales que se relacionan con este turismo de masas en Quintana Roo que están impactando en su HE que hace que esta actividad y su proceso se vea amenazada por el costo ambiental que representa.

Algunos de estos impactos pueden resultar en la imposibilidad del cumplimiento de las metas e intereses de los gobiernos en turno o de las expectativas de la población. A pesar de que el turismo se ha considerado como la panacea económica de Quintana Roo, impone una amenaza significativa e inmediata al ecosistema, dado que el desastre ecológico comienza cuando los humanos aumentan la afectación con la utilización de los recursos naturales en un grado que supera la habilidad del ecosistema a rehabilitarse. Según algunos autores revisados por Rasekhi & Mohammadi (2015), las fluctuaciones en el nivel del mar, la erosión de la tierra y la contaminación del aire, así como los problemas ecológicos causado por el cambio en el uso del suelo o la depreciación estético y arquitectónico, y los efectos de las actividades económicas que desechan los desperdicios líquidos y sólidos cerca o en las costas y los residuos producidos por el turismo son los principales factores de daño ambiental.

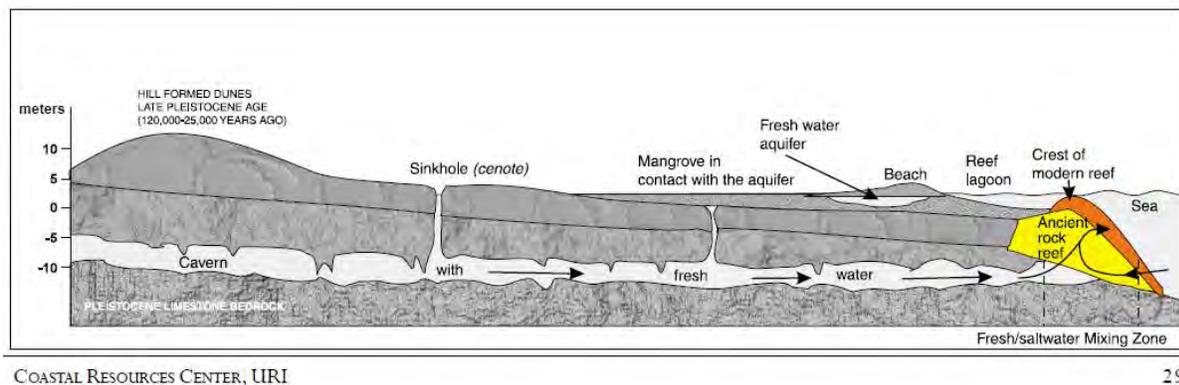
Desde hace más de una década, Pozo, et.,al, (2011) señalaban que un aspecto que requiere atención urgente era la contaminación provocada por los desechos orgánicos, dado que en el estado sólo existían catorce plantas de tratamiento de aguas residuales y no todas funcionaban correctamente, por lo que la capacidad para tratar los desechos orgánicos provenientes de los grandes hoteles, los barcos de crucero, las zonas urbanas y las comunidades costeras no era suficiente. Esta problemática provocaba el aumento en la presencia y variedad de enfermedades coralinas.

El arrecife que bordea al Caribe Mexicano en las costas de Quintana Roo es de riqueza ecosistémico con una proximidad entre 500 y 1000 metros de la línea costera y que sirve como una protección natural de los sistemas hidrometereológicos. Según Molina, et.al., (2001), el arrecife juega un papel ecosistémico importante aún en estado de calma porque reduce las acciones erosivas de las olas sobre las costas, poniendo de ejemplo la erosión que sucede en Sri Lanka y las Filipinas donde los estudios han evidenciado el aumento de erosión costero como resultado de la pesca con dinamita que ha destruido el arrecife. Murray (2007) señala que desde sus inicios la industria turística se ha

desarrollado directa y masivamente en zonas costeras alterando sus ambientes y pone como ejemplo a Cancún en donde los hoteles privilegiaron situarse lo más cercano al mar para seducir a sus huéspedes, situación que con el tiempo ha afectado el sistema arrecifal.

Buzos del mundo visitan las costas de Quintana Roo por su belleza arrecifal, siendo el Banco Chinchorro, en el sur del estado localizado a escasos 30 km de la costa, el de riqueza coralino, elemento, entre otras riquezas naturales, que contribuyó a designarlo Reserva Federal Biosfera en 1998, propiciando así su potencial turístico. Sin embargo, la continua construcción de infraestructura turística como marinas y hoteles, aunado al aumento de turistas, pone en peligro la regeneración de la vida arrecifal y amenaza su valor biodiverso y recreacional. Según Pozo, et., al. (2011), toda la costa desde Puerto Morelos hasta Tulum tenía una franja de manglares de dos a cinco kilómetros de ancho que en su mayoría habían sido desecados por la edificación de hoteles, el asentamiento de poblaciones y la construcción de carreteras y caminos; lo que además ha provocado malos olores y la proliferación de mosquitos por la interrupción del movimiento del agua que mantenía a los humedales. Aunado a lo anterior, también señalan que el turismo de cruceros es otra amenaza importante para estos ecosistemas en Quintana Roo sobre todo porque los impactos físicos directos sobre el arrecife son considerables dada la magnitud del número de turistas que practican el buceo libre y con tanque, caminan sobre los arrecifes o deciden llevarse un recuerdo de su visita, principalmente trozos de coral vivo o restos de organismos de las orillas de la playa.

Figura 2. Dinámica del agua en el subsuelo de la zona costera de Quintana Roo.



Nota: Tomado del documento de Molina, et., al. (2001).

SEDETUR (2021) reporta dentro de sus principales indicadores ambientales que desde 2011 se había perdido más de la mitad de la cobertura vegetal de mangle y de coral vivo, aunado a que la iniciativa Arrecifes Saludables indicó en 2019 que de los 99 sitios coralinos monitoreados en México, el 17% se encontraba en estado crítico y 41% en mal estado, además que en 2018 el “síndrome blanco” en los arrecifes de Quintana Roo afectaba a más de 20 especies coralinas con la muerte del 30% de esta población dando como resultado una grave afectación a los ecosistemas importantes como pastos marinos.

En cuanto a los huracanes, un aspecto importante que menciona Navarrete & Pelling (2015) es que los habitantes de Quintana Roo, usando el caso de estudio de la adaptación local por cambio climático en Akumal, una pequeña comunidad que se ubica en un destino turístico de playa, descubrieron que existe una separación entre riesgo hidrometeorológico y desarrollo en su imaginario cotidiano, puesto que solamente relacionan los ciclones con la preparación de desastre que incluye la evacuación y reconstrucción que conduce el gobierno. Córdoba (2018) también concluye que el TM en Cancún ha contribuido a vulnerar el territorio que se ubica en el cinturón de los huracanes y que los varios Atlas de Desastres elaborados no han sido tomado en cuenta por las autoridades gubernamentales para hacer políticas integrales que contemplen lo económico, social y ambiental. Un cambio deliberado hacia la adaptación al cambio climático y sus consecuencias sugiere que este puede suceder de manera organizada y en consenso si se parte de la historia de la comunidad y con la participación de multiactores.

El turismo comunitario en Quintana Roo y su relación con la sustentabilidad

Por lo anterior, el TC que cada vez toma mayor importancia en el mundo y cuya presencia en Quintana Roo lleva varios años, se está constituyendo en una alternativa al TM al generar menor HE, y por ende, cumple con las directrices de sustentabilidad y sostenimiento, necesario para lograr un desarrollo más equilibrado entre los aspectos económico, social y ambiental.

Referente al TC en Quintana Roo, se ha percibió que existe una limitada información estadística oficial dado que no se ha llevado a cabo la actualización del trabajo realizado por parte de la Base de Datos TurNatur construida a través del proyecto de investigación realizado por docentes e investigadores y auspiciado por las instancias federales enfocadas al sector turístico (Fondo Sectorial Sector) así como por parte del organismo dedicado al fomento de la ciencia y tecnología en México (CONAHCYT). Se generó un inventario de iniciativas comunitarias autogestionadas publicado en el año 2016, haciendo mención en ese momento de 998 empresas registradas con participación indígena dedicadas a ofrecer servicios y actividades turísticas en algunos de los segmentos que conforman el turismo alternativo en México, asentadas en 729 localidades de 27 entidades federativas y que involucran a 414 municipios que representan 16.82% de los 2 461 que da cuenta el catastro municipal nacional (Palomino et al., 2016).

A lo largo de la búsqueda de fundamentos teóricos del TC en Quintana Roo, se llegó a construcción de una propuesta de criterios que, con base al TC, son de orden multidimensional vistos desde varias aristas, contribuyendo así a la dinámica de desarrollo con tinte sostenible a partir de la actividad turística con identidad comunitaria. Se muestra en la siguiente imagen la construcción de la esencia del TC.

Figura 3. Identificación de criterios del turismo comunitario en Quintana Roo.

SOCIAL	Baja densidad demográfica.
	Actividades inclusivas dentro de la comunidad.
	Resiliente a modificaciones por elementos externos.
CULTURAL	Contacto con estructuras sociales y formas de vida tradicionales.
	Atrae visitantes ofreciendo experiencias.
ECONOMICO	Generación de beneficios económicos para la comunidad.
	Diversificación de las actividades productivas.
MEDIOAMBIENTAL	Rescate, preservación, control, y promoción – capacidad de carga.
	Paisajes y ordenación territorial / actividades primarias.
POLITICO- INSTITUCIONAL	Política de TC / transversalidad.
	Planeación para el TC.

Nota: Elaboración propia.

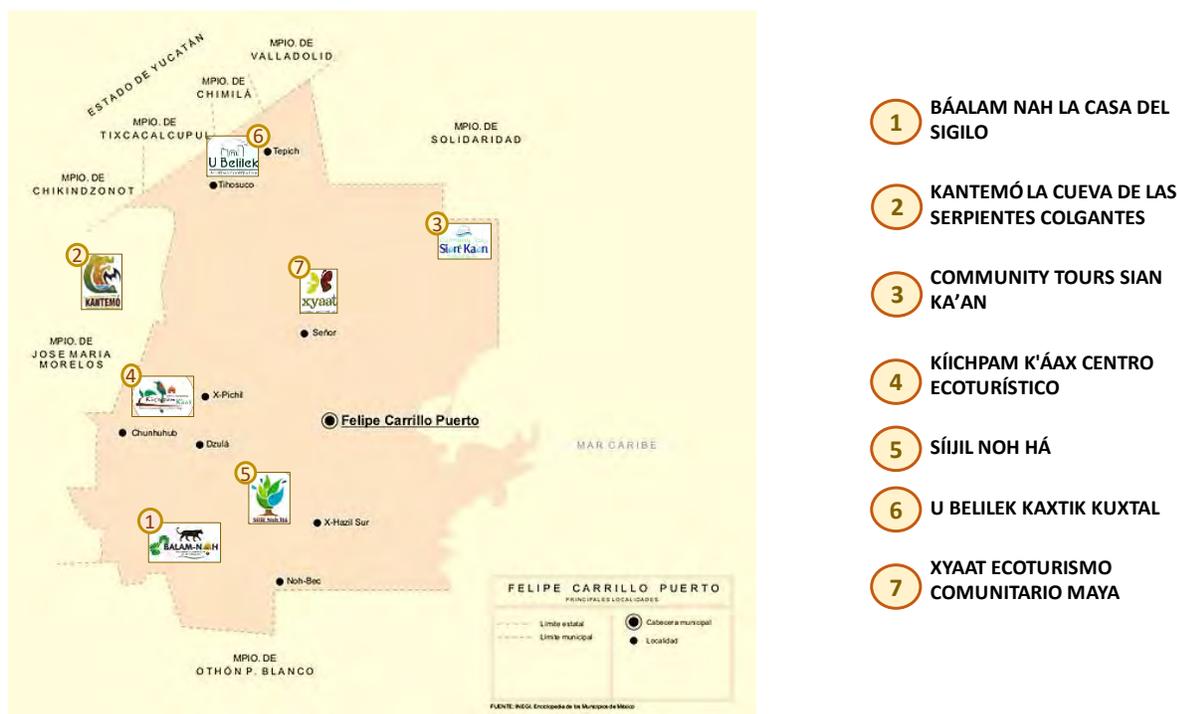
Es un hecho que existen más TC y en otras entidades que no se habían considerado. Es por eso por lo que elementos como la organización, sinergia, participación comunitaria y solidaridad son clave en el proceso de potenciación de las comunidades locales sobre todo en los últimos años en países subdesarrollados. Es decir, la cultura, el patrimonio y los recursos naturales locales están siendo usados por las comunidades locales para mejorar el desarrollo socioeconómico del destino (Orgaz, 2013). El 75% del TC son propiedad comunitaria y 24% de propiedad ejidal. Las figuras legales que asumen estos emprendimientos van desde sociedades de producción rural (SPR), sociedades

cooperativas (SC), sociedades de solidaridad social (SSS), asociaciones civiles (AC), sociedades de riesgo limitado (SRL) hasta uniones, redes y cadenas productivas (Palomino et al., 2016).

Aunado a lo anterior, Quintana Roo forma parte de la Alianza Peninsular para el Turismo Comunitario (APTC) conformado por agentes gestores de recursos tangibles y tangibles para impulsar la actividad turística sostenible a escala regional. Se trata de fortalecer el turismo en comunidades rurales, a través del trabajo colaborativo de 24 empresas sociales, integradas por un total de 270 socios de comunidades indígenas y campesinas. Integra a tres redes estatales ya consolidadas en Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Jouault, 2020). Dicha alianza tiene origen a partir de reuniones de grupos líderes de organizaciones turísticas de base comunitaria desde 2016 con el fin de dialogar y planificar estrategias en común para atender problemáticas compartidas por parte de estos emprendimientos (APTC, 2014).

Quintana Roo también cuenta con la Red de Turismo Comunitario de la Zona Maya conocida también como Caminos Sagrados, la red que se identificó como la más consolidada y reconocida. Cabe resaltar que su localización es muy específica dado que se encuentra en la zona centro de la entidad federativa abarcando los municipios de José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto. Con la finalidad de poder ilustrarlo, a continuación, se comparte una figura que hace referencia a la distribución geográfica de estos emprendimientos de TC.

Figura 4. Emprendimientos de turismo comunitario en Quintana Roo a 2020



Nota: Elaboración propia.

Vale la pena destacar que es en esta región del estado en la cual hay presencia del mayor porcentaje de población indígena, por ende, se cuenta con mayor arraigo a su entorno que se expresa a través de la constante tarea de preservar su patrimonio natural y cultural. Es fundamental señalar que, en esta región, conocida como región maya, se cuenta con una riqueza exuberante de recurso forestal que interactúa con la flora y fauna endémica, incluyendo a las abejas. La importancia de esta región por su naturaleza y recursos naturales ha permitido que su población se desenvuelva en lo cotidiano con los principios de la sustentabilidad, prácticas que hoy les permite su aprovechamiento como impulso para el TC.

Esta red de emprendimientos se formó en 2014 por 8 emprendimientos, cuya creación está vinculada con la marca Maya Ka'an. La organización no gubernamental (ONG) «Amigos de Sian Ka'an» sentó los primeros esfuerzos para

fortalecer a los emprendimientos y visibilizar una opción alterna al TM en el estado de Quintana Roo. Es a través de la operadora «Caminos Sagrados», creada en 2018, que se facilita la comercialización de esta red en la Riviera Maya con la creación de rutas que integran a las organizaciones y complementan los servicios y actividades turísticos de las comunidades (APTC, 2024).

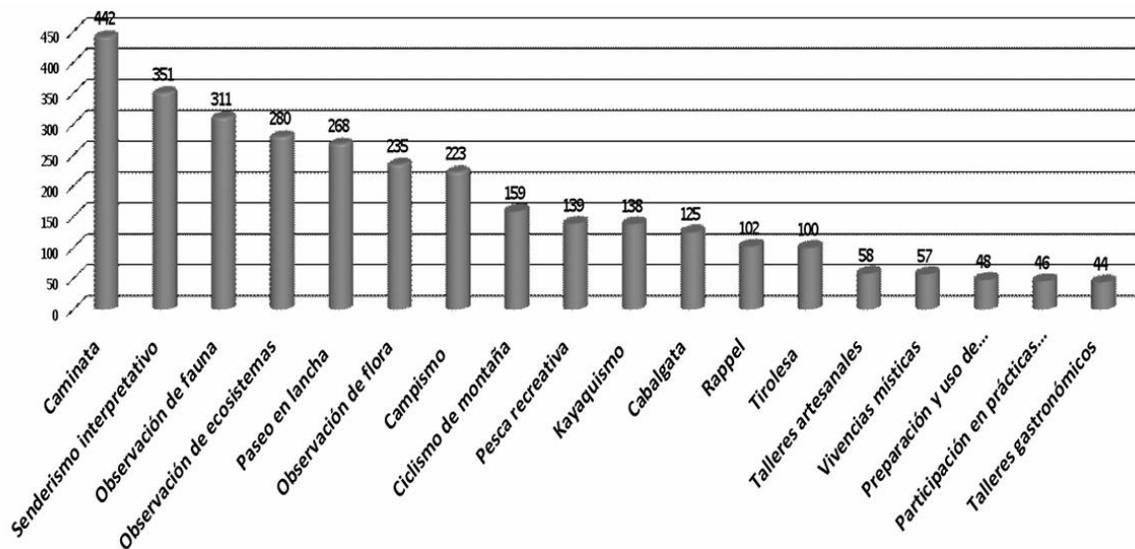
Discusión

Quintana Roo cuenta con una singularidad geográfica, climática y hasta cultural comparado con el resto de México que la da una ventaja comparativa y competitiva en la actividad turística. Esto permite vislumbrar escenarios alternativos de organización del territorio en cuanto al turismo en términos de concebir instrumentos innovadores para la gestión económica, social, ambiental y política, al menos para las comunidades de pequeña y mediana escala socioeconómica, que en general disponen aún de un conjunto de oportunidades para gestar y aplicar estrategias para que el desarrollo productivo y social de su comunidad con perspectiva de turismo sustentable, mientras se diseñan políticas para regular el turismo de masas, acciones que en su conjunto ayudarán a reducir la HE del turismo en Quintana Roo.

Para fines concretos de este trabajo, se encontró que hay un gran rezago en cuanto a datos estadísticos descriptivos de la HE causado por el TM y del TC en México, pese a eso con lo que se logró encontrar damos un panorama de las condiciones sustentables del turismo de masas y la situación actual del TC en Quintana Roo. Como se mencionó anteriormente, fue para el año 2016 que se llevó a cabo el inventario de emprendimientos de TC, momento en que se evidenció que se contaba con una incipiente manifestación de esta actividad pues el predominio siempre ha sido, por excelencia, el turismo de sol y playa.

La presencia del TC en Quintana Roo se ha ido consolidado y este se logra diferenciar del TM en cuanto a las actividades apegadas a la apreciación de la naturaleza. En la siguiente gráfica, se destacan las principales actividades (experiencias) que se ofertan en la modalidad de TC en México, lo cual nos deja ver el apego de las actividades a los recursos naturales del entorno.

Gráfica 1. Las actividades realizadas por los emprendimientos de turismo comunitario en México a 2014.



Nota: Tomado del documento de Palomino et al., (2016).

Para el caso de Quintana Roo, son ocho emprendimientos que comprenden la Red de Camino Sagrado. En la tabla 2 se presentan las actividades a que van enfocadas su oferta turística.

Tabla 2. Emprendimientos que integran la red de turismo comunitario en Quintana Roo - Caminos Sagrados y sus actividades turísticas realizadas a 2021.

Emprendimiento:	Actividades:	Emprendimiento:	Actividades:
BÁALAM NAH LA CASA DEL SIGLO	Nado en cenotes	XYAAT	Observación de aves
	Kayak		Recorridos comunitarios
	Área de Ocampo		Cabañas o casa local
	Servicio todo el año		Servicio todo el año
KANTEMÓ LA CUEVA DE LAS SERPIENTES COLGANTES	Gruta	U BELILEK KAXTIK KUXTAL	Observación de aves
	Bicicleta		Recorridos comunitarios
	Área de acampado		Senderismo
	Servicio todo el año		Área de acampado
	Paseo en lancha		Servicio todo el año
COMMUNITY TOURS SIAN KA'AN	Nado en cenotes	SÍIJIL NOH HÁ	Nado en cenotes
	Visita zona arqueológica		Conservación de aves
	Paseos comunitarios		Kayak
	Senderismo		Petenes y manglares
	Petenes y manglares		Cabañas o casa local
	Servicio todo el año		Servicio todo el año
KÍIHPAM K'ÁAX CENTRO ECOTURÍSTICO	Nado en cenotes	U BELILEK KAXTIK KUXTAL	Observación de aves
	Recorridos comunitarios		Recorridos comunitarios
	Cabañas o casa local		Senderismo
	Servicio todo el año		Área de acampado
			Servicio todo el año

Nota: Elaboración propia.

Se observa que, tanto a nivel nacional como estatal, en el caso de Quintana Roo, las actividades turísticas de los emprendimientos de TC se relacionan con la naturaleza y/o con el aprovechamiento de los recursos naturales de su entorno, situación que los acerca a la sustentabilidad. Este hecho, aunado a la organización de cooperación colectiva y comunitaria permite otorgarle la importancia a la conservación, cuidado y control del entorno, factores importantes que impactan en la sustentabilidad y por ende, en un menor grado de HE causado por el turismo. Es necesario resaltar que, dentro de los criterios de la sustentabilidad, la HE por países es desigual, para lo cual la WWF (2024) señala que siendo la HE una medida de la demanda humana de recursos naturales, su grado de impacto depende del lugar del mundo que se estudie, dado que no todos los países demandan tantos recursos como otros, por lo que la huella que produce cada país es diferente. Esto mismo aplica para el caso de la HE en las urbes en Quintana Roo como Cancún, Playa del Carmen, Tulum que son predominantemente destinos de TM en comparación con la HE que se produce en la zona rural que se lleva a cabo por emprendimientos de TC.

El TC resulta fundamental en la reproducción comunitaria que incorpora el cuidado y respeto al medio ambiente que, al ser aprovechado, les permite obtener ingresos. La base estadística del TC plantea la presencia de la actividad en un territorio extenso y con condiciones sociodemográficas y ecológica muy particulares. La intervención gubernamental en la promoción del TM ha ignorado por muchos años a las comunidades y pueblos indígenas y su inserción en el mercado turístico con las formas tradicionales de organización social que determinan el uso de los recursos colectivos en la forma de TC.

El TM en Quintana Roo también vino acompañado del surgimiento y consolidación del servicio todo incluido. Esta modalidad se caracteriza por la llegada masiva de turistas que rara vez visitan otros lugares del entorno (Monterrubio, et., al, 2018), provocando situaciones de aglomeración en las playas y en el ecosistema costero y marítimo por las actividades que allí realizan, todo lo cual repercute en aumentar la HE.

Conclusiones

La revisión documental de la HE, el TM y el TC arrojo suficiente información para declarar que el estudio de la HE se fundamenta en los principios de la sustentabilidad. Diversos autores han llegado a la conclusión que el TM tiene

repercusiones negativas en cuanto a la sustentabilidad por la demanda que ejercen los visitantes sobre los recursos naturales especialmente las costas y en el uso de recursos como la energía eléctrica y el agua. Por el otro lado, el TC se realiza principalmente en áreas rurales bajo emprendimientos de organización colectiva que toma las decisiones sobre el uso de los recursos naturales de su entorno. Dado que el turismo se base en la expresión cultural del destino y en el uso de los recursos de la naturaleza, la decisión por conservar y controlar su aprovechamiento se apega a las prácticas sustentables.

El estudio exploratorio de la HE causada por el TM en Quintana Roo evidenció los daños realizados al sistema arrecifal por el avance de la infraestructura hotelera y el aumento de la población de los destinos. También se señaló la vulnerabilidad ante los ciclones causado por la tala de los manglares. A esto se le suma la generación de residuos sólidos y aguas residuales causado por turistas y pobladores. El TM en Quintana Roo se acompañó de la introducción de los hoteles todo incluido que no solamente tiene un impacto importante en la HE, sino que también no permitió visibilizar las otras formas potenciales de turismo, especialmente el TC incipiente en la zona rural de Quintana Roo.

La información disponible sobre el TC en Quintana Roo aporta una realidad prometedora de la existencia de emprendimientos turísticos en zona rural que ofrecen actividades que se relacionan con la cultura y la naturaleza. A diferencia del TM que es fundamenta en grandes inversiones extraterritoriales, el TC se organiza de manera colectiva y autónoma con una conciencia hacia la preservación, control y aprovechamiento de los recursos naturales, pues de eso dependen los ingresos que obtienen las comunidades por el turismo. La relación del TC con los recursos que provee la naturaleza permite que se comparta los principios de la sustentabilidad por lo que da indicios a la hipótesis que sustenta que el TC es idóneo para Quintana Roo dado que produce menor HE que el TM.

La integración de la HE en conjunto con la planificación y práctica del TC permite a las comunidades locales dentro de Quintana Roo, tanto como en otros territorios, gestionar sus recursos de manera más sostenible y sustentable, creando un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la economía local. Al fomentar un enfoque que prioriza la sostenibilidad y la reducción de la HE, el TC contribuye a un modelo de desarrollo más equilibrado, respetuoso, de preservación o prevalencia del entorno natural, el cual nos brinda los recursos necesarios para la subsistencia y permitiendo lleva a cabo un estilo de vida dignificante en términos de un desarrollo sostenible equilibrado. El TC ayuda a conservar los recursos sean patrimoniales, culturales o naturales. Es por ello por lo que se plantea como una forma de turismo sustentable que busca mejorar el desarrollo socioeconómico de la población en las comunidades que se traduce en el disfrute de las generaciones futuras, ya sean residentes o turistas y con un bajo impacto en la HE.

Finalmente, es importante advertir que se requiere realizar estudios sectoriales de la HE del TM ya que la industria turística de sol y playa en zonas costeras con sistemas arrecifales y acuíferos someros representa una verdadera amenaza a la naturaleza. Ese es el caso de los destinos turísticos urbanos de Quintana Roo. Adicionalmente, son necesarios estudios de la HE del TM provocado por el estilo de este turismo que tiene un tinte de derroche de alimentos, energía eléctrica y agua, para mencionar algunos. Por otro lado, se requiere de más estudios del TC en las zonas rurales de Quintana Roo, dado que las dos redes mencionadas, subestima la cantidad de emprendimientos de esta modalidad que están en franco proceso de crear otras redes bajo distintas figuras legales. Más importante aún es el estudio de la HE del TC, dato que serviría para compararlo con el del TM.

Referencias bibliográficas

APTC (2024). Portal electrónico de la Alianza Peninsular del Turismo Comunitario. Disponible en:

https://www.viajaturismocomunitario.com/xyaat-ecoturismo-comunitario-maya_ Consultado en: 12/02/2024.

Arámburo, D. y Olmos, E. (2024). Estado del conocimiento del turismo comunitario a partir de los bienes comunes desde un enfoque global y mexicano (2016-2023). *Dimensiones Turísticas*, 8, e833064. DOI: <http://doi.org/10.47557/CZEF3064>.

Balsalobre-Lorente, Daniel; Driha, Oana M. & Sinha, Avik. (2020). The N-Shaped Tourism-Led Growth Hypothesis (Tlgh) in Developed Countries and the Dynamic Effects of the Globalization Process. University of Castilla-La Mancha, Spain, University of Alicante, Spain, Beijing Institute of Technology, Beijing, China, COMSATS, University Islamabad, Lahore Campus, Pakistan, Goa Institute of Management, India. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2020.02.005>

Bojórquez-Vargas, Alma Rafaela; Zizumbo-Villarreal, Lilia; Pérez-Ramírez, Carlos Alberto; Márquez Rosano, Conrado. (2018). *La Gestión Comunitaria Del Turismo. Análisis Desde el Enfoque de los Bienes Comunes y los*

- Sistemas Socio-Ecológicos. Revista Ra Ximhai, vol. 14, núm. 1, 2018. Universidad Autónoma Indígena de México, México. DOI: <https://doi.org/10.35197/rx.14.01.2018.09.ab>
- Brecher, Y. (2014). El tiempo y espacio en la cotidianidad ¿Cómo inciden en los vínculos interpersonales? *Question. Revista Especializada en Periodismo y Comunicación*, 1(43), 32-39. Disponible en: <https://perio.unlp.edu.ar/ojs/index.php/question/article/view/2194> Consultado en: 16/06/2024.
- Cabanilla, Enrique. (2018). Turismo comunitario en América Latina, un concepto en construcción. *Revista Siembra*, vol. 5, núm. 1. Universidad Central del Ecuador, Ecuador DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1433>
- Cáceres-Feria, Rafael; Hernandez-Ramírez, Macarena & Ruiz-Ballesteros, Esteban. (2021) “Depopulation, community-based tourism, and community resilience in southwest Spain”. Published by Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.10.008>
- Carabelli, Francisco Andrés; Baroli, Carlos Alfredo; Forti, Laura Liliana & Tabares, Claudia Verónica. (2012). La Huella Ecológica en la toma de decisiones promotoras del desarrollo municipal. Teuken Bidikay. *Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad*. No. 03, enero -diciembre 2012. Pp. 241 – 260. DOI: 10.33571/teuken
- Castellani, Valentina & Salaa, Serenella. (2012). Ecological Footprint and Life Cycle Assessment in the sustainability assessment of tourism activities. *Journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind. Ecological Indicators* 16 (2012), pp. 135–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.002>
- Chávez Dagostino, R. M., Cifuentes Lemus, J. L., Andrade Romo, E., & Espinoza Sánchez, R. (2006). Huella ecológica y turismo sustentable. *Teoría y Praxis*, (2), 147-156. DOI: <https://doi.org/10.22403/uqroomx/typ02/08>
- Coraggio, J. L. (2016). Economía social y solidaria: conceptos, prácticas y políticas públicas. Disponible en: https://www.coraggioeconomia.org/jlc/archivos%20para%20descargar/Libro_ESS.pdf Consultado en: 12/02/2024.
- Córdoba Azcárate, Matilde. (2018). Fueling ecological neglect in a manufactured tourist city: planning, disaster mapping, and environmental art in Cancun, Mexico, *Journal of Sustainable Tourism*, DOI: 10.1080/09669582.2018.1478839.
- Diéguez, A.J., & Guardiola, M.P. (1998). Reflexiones sobre el concepto de comunidad. De lo comunitario a lo local. De lo local, a la mancomunidad. Argentina: Escuela de Trabajo Social Facultad de Ciencias Sociales Universidad de Costa Rica. Disponible en: https://www.yumpu.com/es/document/read/14454006/reflexiones-sobre-el-concepto-de-comunidad-de-lo-comunitario#google_vignette Consultado: 13/06/2024
- Henríquez, C., Zechner, T., & Sampaio, C. (2010). Turismo y sus interacciones en las transformaciones del espacio rural. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 18, 21-31. DOI: <https://doi.org/10.4206/rev.austral.cienc.soc.2010.n18-02>
- Hunter, Colin & Shaw, Jon. (2007). The ecological footprint as a key indicator of sustainable tourism. *Science Direct. Tourism Management* 28 (2007) 46–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2005.07.016>
- Illich, I. (1978). Ciudades para un futuro más sostenible. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n26/aiill.html> Consultado: 16/06/2024
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda, 2020. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> Consultado: 16/06/2023
- Jouault, Samuel. (2020). La Alianza Peninsular Para El Turismo Comunitario (APTC) Ante La Nueva Coyuntura Regional. Mérida: PPD-FMAM, UADY. Pp. 100. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340660865_La_Alianza_Peninsular_para_el_Turismo_Comunitario_APTC_ante_la_nueva_coyuntura_regional Consultado: 08/06/2024
- Jouault, Samuel, Rivera-Núñez, Tlacaclé, García de Fuentes, Ana, Xool Koh, Manuel, & Montañez Giustinianovic, Alejandro. (2021). Respuestas, resistencias y oportunidades del turismo comunitario en la península de Yucatán frente al COVID-19 y las crisis recurrentes. *Investigaciones geográficas*, (104), e60240. Epub 20 de septiembre de 2021. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60240>
- Khatun, Amena; Sukrana, Bipasha & Islam Jui, Farjana. (2023). The Role and Impact of Mass Tourism: A Study on the Mass Tourist Spots at Dhaka, Sylhet and Cox's Bazar, Bangladesh. *Quest Journals. Journal of Research in Environmental and Earth Sciences* Volume 9 ~ Issue 1 (2023) pp: 83-90. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/368364244_The_Role_and_Impact_of_Mass_Tourism_A_Study_on_the_Mass_Tourist_Spots_at_Dhaka_Sylhet_and_Cox's_Bazar_Bangladesh Consultado: 16/06/2024
- Kieffer, Maxime. (2018). Conceptos claves para el estudio del Turismo Rural Comunitario. *El Periplo Sustentable*, [S.l.], n. 34, p. 8 - 43, ene. 2018. ISSN 1870-9036. Disponible en: <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/9031>. Consultado: 16/06/2024

- López-Guzmán, T. & Sánchez Cañizares, S. M. (2009). Turismo comunitario y generación de riqueza en países en vías de desarrollo. Un estudio de caso en el Salvador. *REVESCO: Revista de Estudios Cooperativos*, n° 30, pp. 85-103. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36711903004> Consultado en: 17/06/2024.
- Maldonado, Carlos (2005). Pautas metodológicas para el análisis de experiencias de turismo comunitario, Ginebra, Suiza: Organización Internacional del Trabajo. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/publications/pautas-metodologicas-para-el-analisis-de-experiencias-de-turismo> Consultado en: 12/02/2024.
- Mancini, Maria Serena; Evans, Mikel; Iha, Katsunori; Danelutti, Carla and Galli, Alessandro. (2018). Assessing the Ecological Footprint of Ecotourism Packages: A Methodological Proposition. *Resources* 2018, 7, 38; DOI:10.3390/resources7020038
- Molina, Concepción; Rubinoff, Pamela & Carranza, Jorge. (2001). Guidelines For Low-Impact Tourism Along the Coast of Quintana Roo, México. Amigos De Sian Ka'an A.C. Coastal Resources Center, University of Rhode Island. Integrated Coastal Resources Management Program in Quintana Roo, México. Disponible en: https://www.crc.uri.edu/download/Normas_Eng_FullDocument.pdf Consultado en: 17/06/2024.
- Murray, Grant. (2007). Constructing Paradise: The Impacts of Big Tourism in the Mexican Coastal Zone. *Coastal Management*, 35:339-355. DOI: 10.1080/08920750601169600
- Navarrete, Manuel D. & Pelling, M. (2015). Subjectivity and the Politics of Transformation in Response to Development and Environmental Change. *Global Environmental Change*, 35, September 2015. Pp. 558-569. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.08.012.
- Norval, A.J. (1936). *La Industria Turística*. Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd. Londres, Inglaterra. Traducción del inglés y presentación por Francisco Muñoz de Escalona. Disponible en: <https://asesoresenturismoperu.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/04/179-la-industria-turistica.pdf> Consultado en: 17/06/2024.
- Monterrubio, C., Osorio, M. & Benítez, J. (2018) Comparing enclave tourism's socioeconomic impacts: A dependency theory approach to three state-planned resorts in Mexico. *Journal of Destination Marketing & Management*, 8, 412-422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2017.08.004>
- Morillo Moreno, Marysela Coromoto. (2011). Turismo y producto turístico. Evolución, conceptos, componentes y clasificación. *Revista Visión Gerencial*, núm. 1, enero-junio, pp. 135-158. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545890011.pdf> Consultado en: 17/06/2024.
- Orgaz Agüera, F., (2013). El Turismo Comunitario Como Herramienta para el Desarrollo Sostenible de Destinos Subdesarrollados. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 38(2). DOI: https://doi.org/10.5209/rev_NOMA.2013.v38.42908
- Palomino Villavicencio, Bertha, Gasca Zamora, José, & López Pardo, Gustavo. (2016). El turismo comunitario en la Sierra Norte de Oaxaca: perspectiva desde las instituciones y la gobernanza en territorios indígenas. *El periplo sustentable*, (30), 6-37. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-90362016000100006&lng=es&tlng=es. Consultado: 09/05/2024
- Pozo, C; Armijo Canto, N & Calmé S. (Editores). (2011). Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación. Tomo 1. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD). México, D.F. Disponible en: https://semaqroo.gob.mx/Riqueza_biol%C3%B3gica_de_Quintana_Roo_Tomo_I.pdf Consultado en: 17/06/2024.
- Rasekhi, Saeed & Mohammadi, Soraya. (2015). The Relationship between Tourism and Environmental Performance: The Case of Caspian Sea Nations. *Iranian Journal of Economic Studies*. Vol. 4, No. 2, Fall 2015, Pp. 51-81. DOI: <https://doi.org/10.22099/ijes.2015.4122>
- Roumiani, Ahmad; Arian, Abdul Basir; Mahmoodi, Hamide & Shayan, Hamid. (2023). Estimation and prediction of ecological footprint using tourism development indices top tourist destination countries. *Volume31, Issue 2, April 2023*. Pages 1084-1100 DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2442>
- Ruiz, E., Hernández, M., Coca, A., Cantero, P., & del Campo, A. (2008). Turismo Comunitario en Ecuador. *Comprendiendo el Community based Tourism desde la Comunidad*. Pasos, 6(3), 399-418. DOI: <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2008.06.031>
- SECTUR (Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado de Quintana Roo). (2021). Plan Maestro de Turismo Sustentable Quintana Roo 2030. Pp. 141. Disponible en: <https://sedeturqroo.gob.mx/ARCHIVOS/PMTS/Plan-Maestro-2030.pdf> Consultado en: 20/02/2023
- Ullauri, N., Arévalo, C., & Romero, L. (2018). Análisis situacional del turismo comunitario en la provincia del Azuay. *Siembra [online]*. 2018, vol. 5, n. 1. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1435>

WWF - El Fondo Mundial para la Naturaleza (2024). Recuperado de:

https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/informe_planeta_vivo_ipv/huella_ecologica/#:~:text=La%20Huella%20Ecol%C3%B3gica%20es%20una,que%20termine%20un%20a%C3%B1o%20a%C3%B1o Consultado en:
20/05/2024



<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a4>

<https://www.facebook.com/avacient>

APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA CON DRONES Y MODELACIÓN DE INUNDACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA EN CHETUMAL

Cristina Candelaria Valle Queb¹, Juan Carlos Alcérreca Huerta², Gabriela Rosas Correa³, Anita Martínez Méndez⁴, Joan Alberto Sánchez Sánchez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 30/06/2024 Aceptado: 07/07/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a5>

Resumen.- El rápido crecimiento urbano en el Sureste de México en las últimas décadas ha generado la necesidad de comprender el funcionamiento hidrológico de las zonas urbanas para mitigar inundaciones. Chetumal ha experimentado daños significativos por fenómenos meteorológicos e intensas lluvias en áreas antes ocupadas por selvas o humedales. Así, el objetivo del trabajo busca analizar los efectos ocasionados por las inundaciones pluviales en la porción norte de la microcuenca Proterritorio, en Chetumal, considerando la aplicación de metodologías avanzadas de análisis espacial y modelación numérica. Para lograr esto, se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar Modelos Digitales de Elevación (MDE). Estos modelos permitieron delimitar y representar las cuencas del área urbana de Chetumal en 2020. Además, se aplicó la fotogrametría con drones y modelación numérica en espacios públicos y viales propensos a inundaciones de la porción norte de la subcuenca Proterritorio. Se generó la red de flujo en la cual se identificaron velocidades máximas de 0.94 m/s, alturas de inundación de hasta 1 m y un área ocupada por el flujo superficial de 110 ha, donde normalmente se presentan afectaciones severas. También se describió el Coeficiente de Ocupación del Suelo (COS) y el Coeficiente de Uso del Suelo (CUS).

Palabras clave: urbanización, hidrología, SIG, fotogrametría, inundaciones

APPLICATION OF DRONE PHOTOGRAMMETRY AND FLOOD MODELING FOR URBAN PLANNING IN CHETUMAL

Abstract.- In response to Southeast Mexico's rapid urbanization in the last decades, understanding urban hydrology is crucial for flood mitigation. Chetumal has experienced significant damage due to weather events and heavy rains in areas previously occupied by jungles or wetlands. Thus, this study aims to analyze urban flooding and surface run-off in the northern portion of the Proterritorio subbasin, Chetumal, through the use of Geographic Information Systems (GIS), drone photogrammetry, and numerical modeling. To delimit and represent the basins developed within the urban area of Chetumal in 2020, the analysis of Digital Elevation Models (DEMs) was used. Drone photogrammetry was applied for mapping and further modelling of public spaces and roads prone to flooding, accounting for road infrastructure changes developed in the area. The flow network was obtained in which maximum velocities of 0.94 m/s, flooding heights of up to 1.0 m, and a flooded area of 110 ha were identified, being indicative of severe impacted zones. Urban descriptors such as the Land Occupation Coefficient (COS) and the Land Use Coefficient (CUS) enrich the analysis.

Keywords: urbanization, hydrology, GIS, photogrammetry, floods

Introducción

Durante las últimas décadas el crecimiento urbano acelerado en el Sureste de México ha planteado desafíos significativos en la gestión del agua y la mitigación de inundaciones (Monroy-Ortiz, 2013). Eventos

¹ Estudiante del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Chetumal, Avenida Insurgentes 330, Chetumal, Quintana Roo, México, 77013. ORCID 0009-0004-3866-212X. (**Autor correspondiente**)

² Adscrito al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías-El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal, Av. Centenario km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, México, 77014. ORCID 0000-0001-6325-3118

³ Docente del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Chetumal, Avenida Insurgentes 330, Chetumal, Quintana Roo, México, 77013 ORCID 0009-0007-7010-9377

⁴ Docente del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Chetumal, Avenida Insurgentes 330, Chetumal, Quintana Roo, México, 77013 ORCID 0009-0009-1146-2124

⁵ Docente del Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal, Av. Centenario km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, México, 77014. ORCID 0000-0002-0538-7668

hidrometeorológicos extremos producen flujos y acumulaciones de agua en exceso, lo que provoca daños significativos en la infraestructura y la población (Dai et al., 2020). El incremento de los espacios urbanizados, impulsado por diversos factores como el desarrollo económico, transforman la permeabilidad y el paisaje en áreas anteriormente dominadas por selvas y humedales (Caruso, 2021; Ibarra-Marigal et al., 2022; Upegui & Tatiana, 2020), aumentando su vulnerabilidad ante inundaciones (Palom, 2020). En múltiples casos, los espacios urbanos son susceptibles a inundaciones como consecuencia de una insuficiente planeación del desarrollo urbano, ya que incluso suelen desarrollarse actividades contrarias a mejorar el funcionamiento de las cuencas urbanas (Palom, 2020; Porcel & Díaz, 2014; Sánchez, 2018).

Las inundaciones pluviales representan uno de los principales riesgos asociados con el desarrollo urbano acelerado (Isabeles Deniz et al., 2019; Lopardo et al., 2024) en Chetumal y otras ciudades de la región. Eventos meteorológicos extremos, exacerbados por la deforestación y la impermeabilización del suelo han provocado daños significativos en infraestructuras, viviendas y ecosistemas naturales. Además, la falta de diligencia en el mantenimiento de las infraestructuras de saneamiento y alcantarillado por parte de las autoridades encargadas puede contribuir a la gravedad de las inundaciones, lo que resalta la importancia de la responsabilidad administrativa en la gestión de estos riesgos (Garrido, 2020; Porcel & Díaz, 2014). La vulnerabilidad de Chetumal en cuanto a las inundaciones pluviales se ve agravada por su ubicación geográfica, su topografía plana y la presencia de corrientes de agua como el río Hondo, frontera natural México-Belice, o la de cuerpos de agua cercanos, como la bahía de Chetumal y las lagunas de Bacalar, Guerrero, Agua Salada, Chile Verde, Milagros, Mariscal, San Felipe y Noh Bec. Para mitigar los impactos de las inundaciones pluviales, es crucial comprender en profundidad el funcionamiento hidrológico de las zonas urbanas y desarrollar estrategias efectivas de mitigación y adaptación. Para ello, la fotogrametría aplicada a estudios de inundación es una técnica que utiliza fotografías aéreas para obtener información detallada del terreno como una base de gran importancia para la modelación numérica de las inundaciones y la proyección de escenarios de riesgo. La fotogrametría aérea realizada con drones equipados con cámaras de alta resolución, ha revolucionado esta técnica al ofrecer mayor versatilidad y precisión (Lalvay & Mercedes, 2022; Mesén et al., 2006). Más aún, los modelos numéricos hidrológicos resaltan como herramientas fundamentales para la gestión y planeación urbana al ofrecer una alternativa de proyección de escenarios, incluso como base para otros tipos de modelaciones como pueden ser la calidad de agua y daños por erosión (Cabrera, 2012; Jorquera et al., 2014).

En este contexto, el presente estudio se centra en la aplicación de metodologías avanzadas de análisis espacial y modelación numérica para investigar las inundaciones pluviales en el área urbana de Chetumal. Utilizando una combinación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), fotogrametría con drones y modelación hidráulica computacional, se busca obtener un conocimiento detallado de la dinámica de inundaciones en la ciudad. El análisis se enfoca especialmente en la microcuenca Proterritorio, ubicada en la porción norte del área urbana de Chetumal, donde se han presentado cambios significativos en la infraestructura vial y el uso del suelo en las últimas dos décadas (Alonzo & Vera, 2010; Barrera Rojas, 2020; Jimenez Sanchez et al., 2021). La modelación numérica a partir de modelos lluvia-escurrimiento es considerada para representar las consecuencias de eventos críticos de precipitación, la dinámica de la escorrentía, los caudales críticos y las áreas afectadas. Además de analizar a detalle las características hidrográficas en el área de estudio, se presta especial atención a los aspectos urbanísticos que influyen en la vulnerabilidad de Chetumal a las inundaciones pluviales. Se examinan indicadores como el Coeficiente de Ocupación del Suelo (COS) y el Coeficiente de Uso del Suelo (CUS), así como las tendencias de desarrollo urbano y la planificación territorial.

Métodos

Zona de estudio

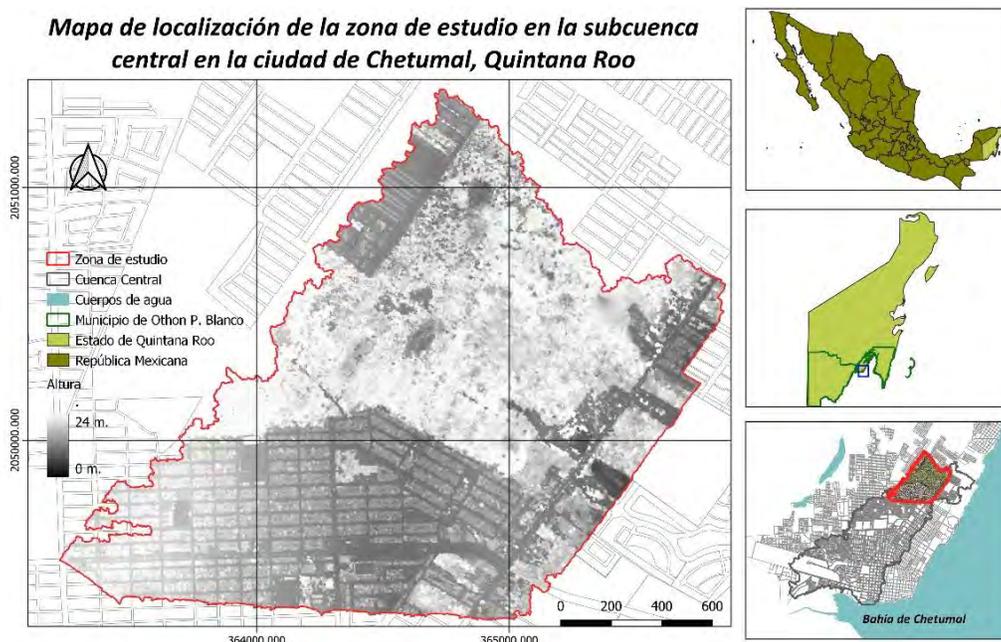
La zona de estudio se localiza en la porción norte de la subcuenca central de Chetumal, la capital de Quintana Roo y cabecera del municipio de Othón P. Blanco (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La ciudad es la sede de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial del estado de Quintana Roo, albergando infraestructura de los diferentes órdenes de gobierno. En ella se encuentran una diversidad de oficinas gubernamentales, agencias estatales y federales, así como sedes de empresas privadas que ofrecen servicios administrativos y financieros, generando una actividad económica destacada en el sector de servicios. Concentra también instituciones educativas de nivel básico, media superior y superior, centros de investigación y servicios de salud para atención de la población local y de la región circundante. De forma particular, dentro del área de estudio destacan recintos importantes como el Juzgado familiar y civil oral y el Juzgado Penal Oral, además de corredores comerciales de gran importancia para la zona norte de la ciudad, instituciones educativas zonificadas como equipamiento regional urbano, como la Escuela Preparatoria Eva Sámano, la escuela Primaria Octavio Paz, y el Jardín de Niños María Maldonado de Lugo (Figura 1). Uno de los

equipamientos urbanos más recientes realizado por la Secretaría de Desarrollo Territorial y Urbano es el Centro de Desarrollo Comunitario y polideportivo en Proterritorio (Figura 1).

El crecimiento urbano de Chetumal (antes Payo Obispo), fue lento desde su origen y hasta la mitad del siglo XX, pasando de 2,112 habitantes en 1910 a 4,672 en 1940 (Romero Mayo & López, 2014). Tras la destrucción ocasionada por el huracán Janet en 1955 (Frausto Martínez, 2018), la ciudad inició un nuevo desarrollo y crecimiento urbano que para 1980 alcanzó los 56,709 habitantes, incrementándose exponencialmente para pasar en el año 2000 a más de 100 mil habitantes y hasta 169 mil para 2020 (INEGI, 2021a, 2016). Desde 1980 existe el registro de diferentes fenómenos hidrometeorológicos como la tormenta tropical “Gert” (1993), que mostró la necesidad de desalojar a los habitantes de las partes bajas de la ciudad. Los huracanes “Opal” y “Roxanne” (1995) con categorías 4 y 5 respectivamente, provocaron la inundación de diversas colonias de la ciudad y se suspendió el suministro de agua en un 60% de esta, inundándose también tres tramos la carretera federal Chetumal-Mérida. Las bandas nubosas del huracán “Mitch” (1998) categoría 5, provocaron fuertes inundaciones y encharcamientos en gran parte de la ciudad, además de afectaciones menores en postes de alumbrado público. A estos grandes eventos hidrometeorológicos se suman la tormenta tropical “Chantal” (2001), el huracán “Dean” (2007), huracán “Karl” (2010) y el huracán “Ernesto” (2012), y uno de los eventos meteorológicos más recientes es la onda tropical núm. 44 (octubre 2015) que causó inundaciones severas que incluyó el cierre de 14 puntos de diversas vialidades donde el nivel del agua superó los 0.80 m (SEDETUS,2018).

En los años noventa del siglo XX, la expansión de Chetumal se orientó principalmente hacia el norte. Durante este período, se llevaron a cabo expropiaciones de tierras ejidales, agregando un área de 858.83 hectáreas. Se establecieron colonias en el sector norte de la ciudad, consolidando así la dirección predominante del crecimiento urbano de Chetumal. Durante los primeros diez años del siglo XXI, la ciudad continuó expandiéndose en la misma dirección. Esto dio lugar a nuevos desarrollos urbanos como Arboledas (entre 2001 y 2004), La Esperanza (en 2002), Caribe (en diferentes fases entre 2004 y 2006), Maya Real (en 2004), Villas Kinichná (en 2005), Félix González, Villas Oxtankah (en 2006), Las Américas I y la expansión de Villas Oxtankah (en 2007), Las Américas II, Andara (en 2008), Sian Ka’an I (en 2009), Sian Ka’an II y Las Américas III (en 2010), entre otros. (SEDETUS, 2018).

Figura 1. Mapa de localización



Nota. División política de México y Quintana Roo obtenido a partir de datos del INEGI. Se muestra la delimitación de la cuenca urbana de Chetumal (línea negra) y de la microcuenca Proterritorio (línea roja) a partir del MDE del INEGI (resolución 5 m). El MDE y elevaciones dentro de la microcuenca Proterritorio (resolución 1 m) obtenido a partir de fotogrametría con dron se muestra en la Figura.

Modelación, adquisición de datos y análisis

Para el desarrollo de la metodología se consideró la aplicación de diferentes herramientas que permitieran optimizar el análisis de inundaciones pluviales en la zona de estudio. De forma general, como primer paso se consideró la delimitación de la cuenca urbana de Chetumal y de la microcuenca Proterritorio considerando productos existentes dados por los Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI de resolución de 5 m. Con el área de estudio delimitada, se empleó la fotogrametría para la obtención de un MDE de alta resolución mediante un vuelo de dron en la microcuenca Proterritorio previamente delimitada y que se consideró como insumo principal para la modelación numérica de las inundaciones. Para la selección del caso crítico de inundación, se utilizaron datos meteorológicos de CONAGUA y documentación histórica de eventos pasados. Se eligió un método de lluvia-escorrentía (SCS-CN) basado en la cobertura y rugosidad del suelo. El MDE de alta resolución y los datos se integraron como insumos para la modelación hidrográfica con IBER, el cual arrojó resultados en los que se observaron los niveles, áreas y velocidades de inundación. Asimismo, considerando dichos resultados y la revisión del Plan de Desarrollo Urbano y de los parámetros urbanos a fin de identificar las zonas más propensas a la inundación pluvial y críticas para un desarrollo urbano en la zona. En la Figura 2, se muestra el diagrama de flujo general de la metodología empleada.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología



La delimitación de las cuencas hidrográficas sobre el área urbana de Chetumal se realizó utilizando los Modelos Digitales de Elevación (MDE) disponibles del INEGI, los cuales se derivan de datos de sensores remotos satelitales y aéreos de los accidentes geográficos georeferenciados sobre el nivel medio del mar, calculados con una resolución de 5 metros de tamaño de pixel. La delimitación de las cuencas urbanas se desarrolló con el software QGIS utilizando el algoritmo r.watershead y r.water.outlet (Ehlschlaeger et al, 2021) a partir de los MDE obtenidos, para la delimitación de la microcuenca Proterritorio. Además, se aplicó el método de Strahler (Strahler, 1957) para medir el tamaño del drenaje natural urbano y la complejidad de ramificación (S) de la red de drenaje.

La fotogrametría del dron permite extraer información geométrica diversa a partir de la adquisición de dos o más imágenes desde diferentes puntos de vista y con una adecuada superposición entre imágenes. Para obtener datos más detallados se realizó un vuelo autónomo con drones, capturando imágenes de alta resolución de la porción norte de la cuenca, específicamente en la colonia Proterritorio Ampliación I. El proceso de vuelo incluyó: i) plan de vuelo realizado en dronedeploy.com; ii) calibración del dron; iii) captura de fotos aéreas con dron en áreas seleccionadas; iv) postprocesamiento de las imágenes considerando procesos de alineación, georeferenciación y generación de una nube de puntos densa; v) conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM y la adición de puntos de control (pats) para asegurar la precisión de los datos, mismos que fueron tomados por la aplicación Mobile Topographer con una precisión de 0.45 m; vi) análisis de la calidad de los datos capturados, ajustando parámetros para mejorar la resolución del Modelo Digital de Elevación (MDE) (Barreiro et al., 2014; Yeh et al., 2016). La altura a la que fue realizada el vuelo sobre el área de análisis fue de 200 metros, la distancia del muestreo del suelo fue de 7.04 cm/ pixel, el ángulo de la cámara de 90°, la velocidad a la cual se realizó el vuelo fue de 13 m/s, capturando 808 fotos y cubriendo un área de 2.57 km², la superposición frontal y lateral fueron de 70% y 80% respectivamente. El vuelo autónomo fue desarrollado el 20.03.2024 entre las 10 y 11 hrs (GMT-5).

El modelado del escenario de inundación pluvial se llevó a cabo utilizando el modelo IBER y como insumo el MDE obtenido con el vuelo de dron, considerando el método de lluvia-escorrentía del Número de Curva del Servicio de Conservación del Suelo (SCS-CN). El escenario es comparado con la modelación considerando el MDE proporcionado por INEGI a fin de mostrar las similitudes y diferencias por la resolución del MDE. En ambos casos se consideró factores como el tipo de suelo, las coberturas terrestres, las condiciones de la superficie y la condición de humedad

antecedente del suelo (Mishra & Singh, 2003). Asimismo, se determinó un número de curva compuesta (CN) específico para la subcuenca Proterritorio, considerando las características de las subáreas descritas en NRCS (2007) para la selección del grupo hidrológico de suelo A (HSG Grupo A). Esto se justifica por las propiedades de permeabilidad e infiltración de las calizas y margas arenosas presentes en la zona.

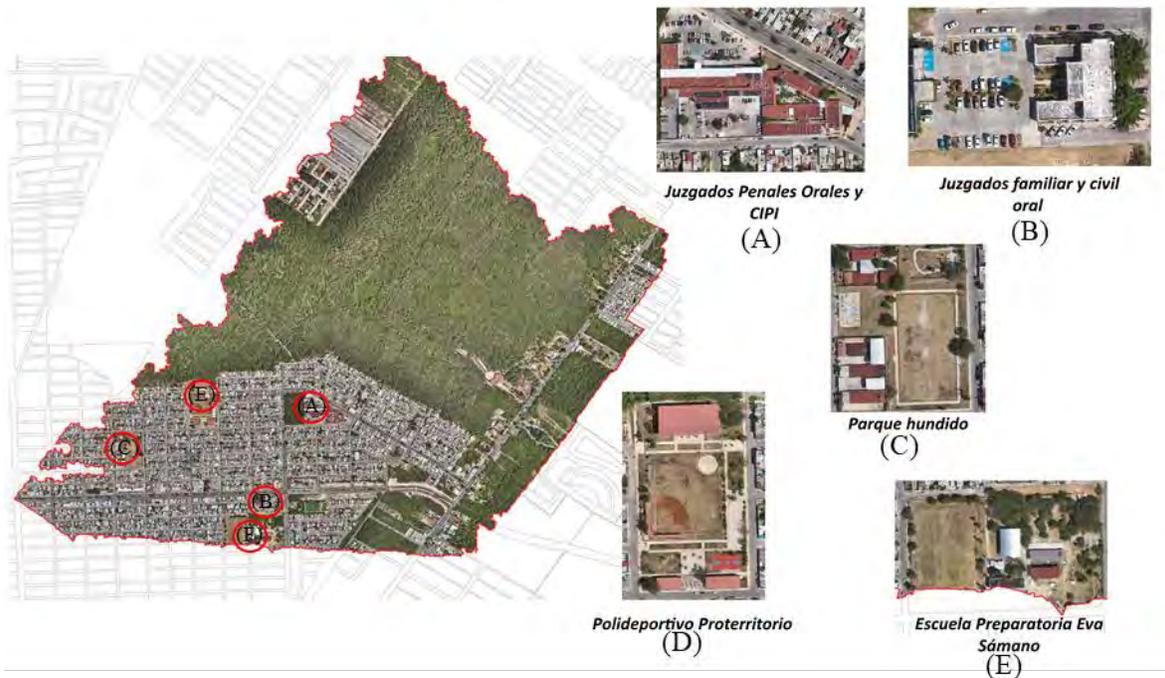
Se seleccionó la precipitación crítica de 2015 asociada con la onda tropical 44, la cual presentó 570.8 mm de lluvia en 4 días, siendo uno de los eventos hidrometeorológicos recientes más severos registrados que causó inundaciones críticas en la zona (Camacho-Sanabria et al., 2020). Se utilizaron registros meteorológicos de la estación SMN-ESMA-Chetumal (18.5006°N, 88.3275°W) pertenecientes a la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas del Consejo Nacional del Agua (CONAGUA) para describir el hietograma con resolución de 10 minutos como insumo para la modelación numérica. Se definieron los coeficientes de rugosidad de Manning para las subáreas según lo descrito por Chow (1994), considerando la textura y características del terreno.

La caracterización de la zonificación urbana se obtuvo de la Bitácora Territorial de la SEDETUS y el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Chetumal, Huay-Pix y Calderitas 2021. Estos datos se procesaron en QGIS para extraer información detallada sobre el uso del suelo y las características urbanas relevantes para el modelado. Por último, para validar los resultados del modelado, se compararon con las intersecciones bloqueadas por encharcamientos según el informe de la Secretaría de Seguridad Pública, ocasionadas por las lluvias de la onda tropical núm. 44 (SEDETUS,2018).

Resultados

La fotogrametría proporcionó la capacidad de generación de una ortofoto de alta calidad, con resolución de 0.07 m por píxel. La ortofoto supera la resolución de imágenes satelitales Landsat (~30.0 m) y Sentinel (~10.0 m), así como de los productos procesados por INEGI para el área, con resoluciones de 5.0 y hasta 1.5 m. Su alta resolución espacial permite la identificación detallada de características del terreno relevantes para la modelación de inundaciones como camellones, patios internos de casas, diferencia de elevación entre calles, topes y banquetas. Dentro de las calles, se pueden observar manchas oscuras que dan lugar a baches que han sido reparados, incluso, con esta resolución, se puede verificar el cumplimiento del COS en cada vivienda y podría servir para regular los parámetros establecidos (Figura 3).

Figura 3. Ortofoto obtenida a partir del vuelo de DJI Mavic 3T



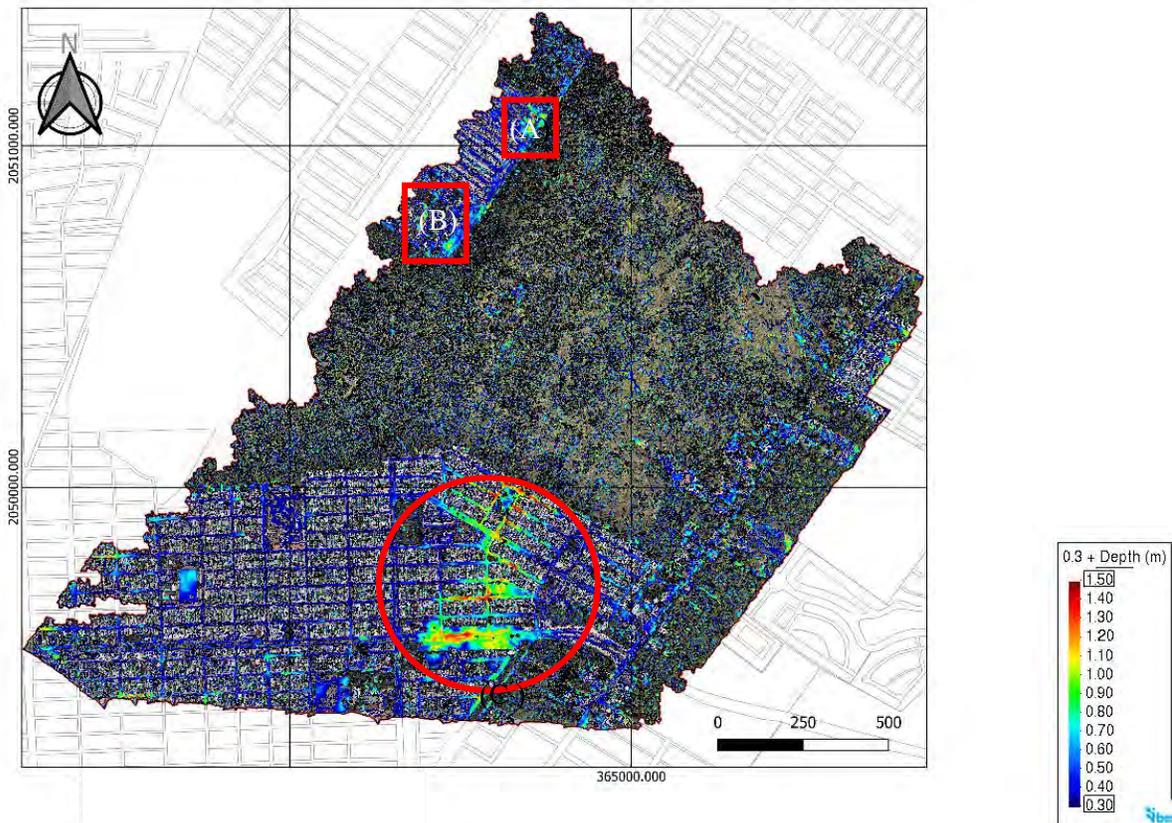
Nota. Elaboración propia obtenida a partir de la fotogrametría realizada

La ortofoto refleja con precisión las condiciones actuales del terreno, lo que es crucial para una modelación precisa de las inundaciones en el área de estudio. Además, proporciona un contexto visual claro que facilita la interpretación de los resultados del modelo. La precisión geoespacial de la ortofoto es fundamental para la validación y verificación de los resultados de la simulación de inundaciones, asegurando que se ajusten a las condiciones reales del terreno.

La modelación hidrológica de la precipitación de 2015 mostró patrones de inundación en la zona de estudio particularmente durante el día 3 del escenario de precipitación con 421 mm. Las áreas problemáticas donde se observaron encharcamientos visibles se distribuyeron particularmente en la porción este de la principal vía de comunicación en la zona de estudio, i.e. Av. Maxuxac (Figura 4). Los niveles de encharcamiento de entre 0 a 0.3 m, ocuparon una superficie de 740,000 m² (74 ha). A pesar de lo anterior, la mayoría de las zonas parecen permitir el tránsito con precaución tanto para peatones como para vehículos. De acuerdo con Bignami (2019) los pasajeros de vehículos con un nivel de inundación de 0 a 0.60 m tiene un bajo impacto de peligro, de 0.60 a 0.90 m comienza a estar bajo el juicio del conductor con potenciales riesgos según el tipo de vehículo. Si el nivel del agua supera ese límite, el vehículo corre el riesgo de dañarse rápidamente al igual que las personas se encuentran en peligro alto (i.e., alturas de inundación >0.9 m). Por lo anterior, es crucial considerar que los vehículos están preparados para resistir una profundidad máxima de agua de 0.20 a 0.25 m a velocidad reducida, aunque existen áreas críticas de mayor altura de inundación (EL UNIVERSAL, 2023) (Figura 4).

Los niveles de inundación superiores a los 0.30 m se localizaron en la sección noroeste de la zona de estudio. Se encontraron áreas dispersas pero notables con elevación del nivel del agua por encima de los 0.30 m, correspondientes a espacios baldíos, probablemente lotificados, y distinguibles con el resultado de la ortofoto con vuelo de dron (Figura 4, (A)). Aproximadamente a 400 m en dirección sur aparecen alturas de entre 0.30 a 1.00 m, donde se ubican viviendas, pero normalmente vinculadas con áreas verdes o espacios vacíos sin viviendas (Figura 4, (B)). En el centro de la zona de estudio, específicamente en la intersección de las calles Flamboyanes, C. Machiché, y C. Lluvia de Oro, que limitan con el Centro Integral de Primera Infancia y una iglesia, se obtuvieron niveles de inundación de 0.10 m hasta 0.70 m, siendo esta última el nivel promedio de inundación estimado.

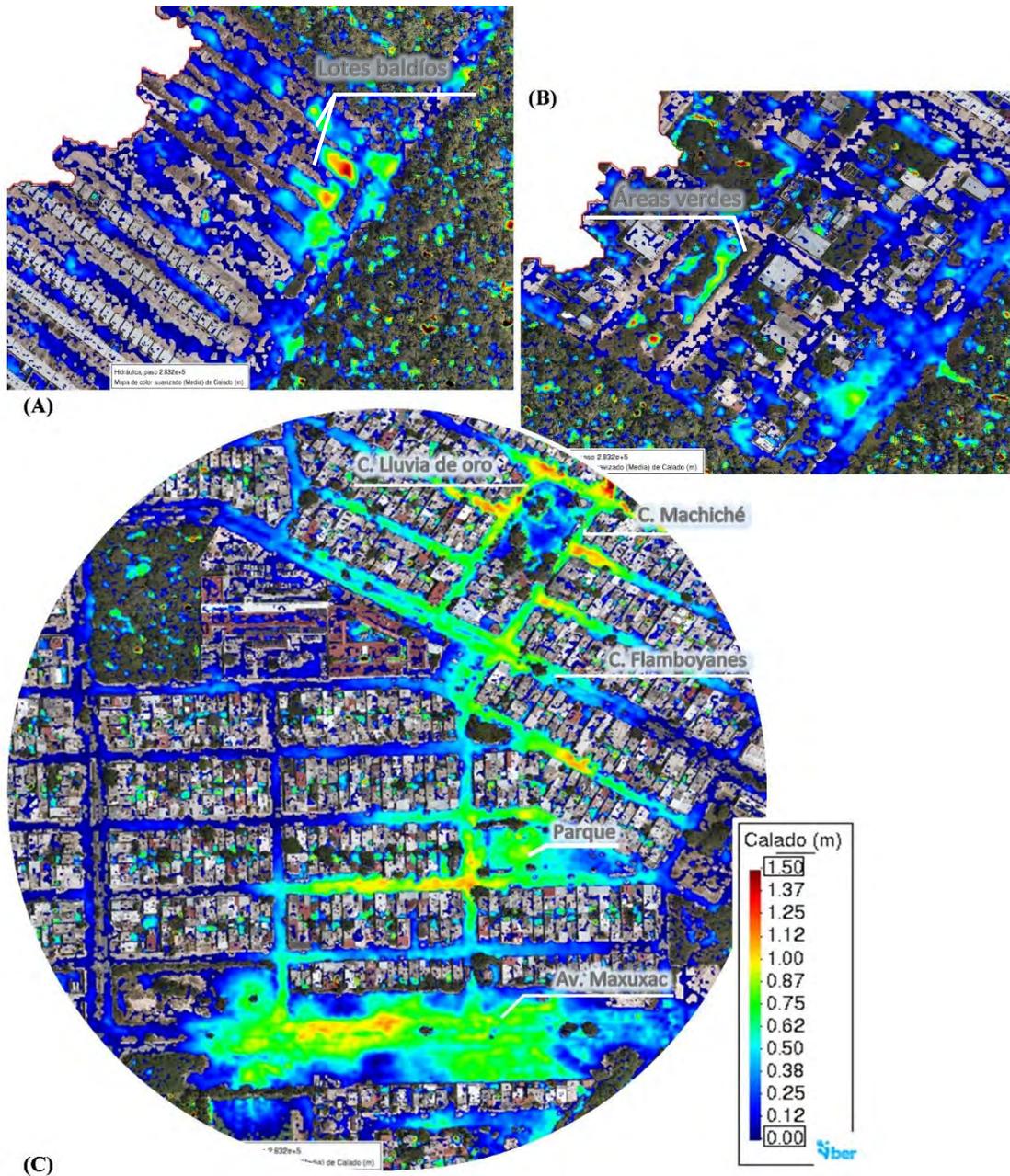
Figura 4. Modelación hidrológica



Nota. Modelación realizada en el software Iber

Se registraron puntos excepcionales de inundación que alcanzaron 1.00 m e incluso, en puntos aislados, niveles de hasta 1.5 m (Figura 4, (C)). Continuando hacia el sur, sobre las calles Guanábana y Machiché, se encontró otro punto crítico en la Av. Maxuxac, especialmente en su ampliación y prolongación hacia la Av. Centenario (Figura 4, (C)). Esta área presentó los niveles más altos de inundación, alcanzando hasta 1.00 m. La Figura 4 (C) muestra claramente cómo la inundación cubre toda la superficie pavimentada y parte de los terrenos baldíos adyacentes, ocupando aproximadamente 2.5 ha. Los datos obtenidos destacan áreas críticas particularmente en la sección noroeste y el centro de la zona de estudio. evidenciando la necesidad de atención prioritaria en estas áreas. A continuación, muestra claramente las zonas críticas de inundación, facilitando una mejor comprensión visual de los puntos más afectados.

Figura 5. Áreas críticas de inundación distribuidas en la porción norte de la subcuenca urbana Proterritorio de la ciudad de Chetumal.



Nota. Elaboración a partir de la modelación realizada en el software Iber

Por otra parte, de acuerdo con la zonificación secundaria que establece el Programa de Desarrollo Urbano Chetumal, Calderitas, Subteniente López, Huay-Pix, Xul-Há, actualización 2021, en la zona de estudio existen los usos de suelos con sus diferentes normatividades (Tabla 1).

Tabla 1. Zonificación, usos y destinos de suelo del área de estudio

Normas			Zonificación secundaria							
			Habitacional		Comercial y de servicios			Destinos		
			Habitacional Mixta	Habitacional mixta vertical	Corredor comercial urbano	Subcentro urbano	Comercio Distrital	Calle comercial	Equipamiento urbano y regional	Área Verde
No.	Descripción	Unidad	HM	HVM	COU	SCU	COD	CC	EU	AV
1.	DENSIDAD									
1.1.	Densidad habitacional máxima permitida	viviendas /ha	170	170	200	200	80	170	NA	NA
1.2.	Área de terreno mínimo/vivienda	m ²	59	59	50	50	125	59	NA	NA
2.	INTENSIDAD EN EL USO DEL SUELO									
2.1.	COS	%	50%	30%	30%	30%	30%	30%	NA	NA
2.2.	% mínimo de la superficie del lote con vegetación	%	40%	56%	56%	56%	56%	56%	25%	80%
2.3.	CUS	Veces la superficie del predio	1.50	1.80	3.6	3.6	1.8	1.80	1.5	0.2
3.	RESTRICCIONES DE CONSTRUCCIÓN									
3.1.	Altura máxima permitida	nivel	3	6	12	12	12	6	NA	NA
3.2.	Niveles permitidos con uso mixto	nivel	1	1	4	4	40	2	NA	NA

Nota. Elaborada a partir de la Actualización 2021 del Programa de Desarrollo Urbano Chetumal Calderitas Subteniente López Huay-Pix Xul-Há

Relacionando la tabla 1 y la figura 5, se muestra que en la zona de estudio predomina corredores comerciales urbanos, sin embargo, en los mismos se encuentran áreas verdes, equipamiento urbano y regional, zona habitacional mixta y mixta vertical. En tal sentido, se detectó que la zona crítica de inundación del área de estudio corresponde a la zonificación de calle comercial, situación que se considera relevante dado que evidencia la importancia de tomar en cuenta en la planificación urbana la relación entre la zonificación del uso del suelo y la susceptibilidad a inundaciones.

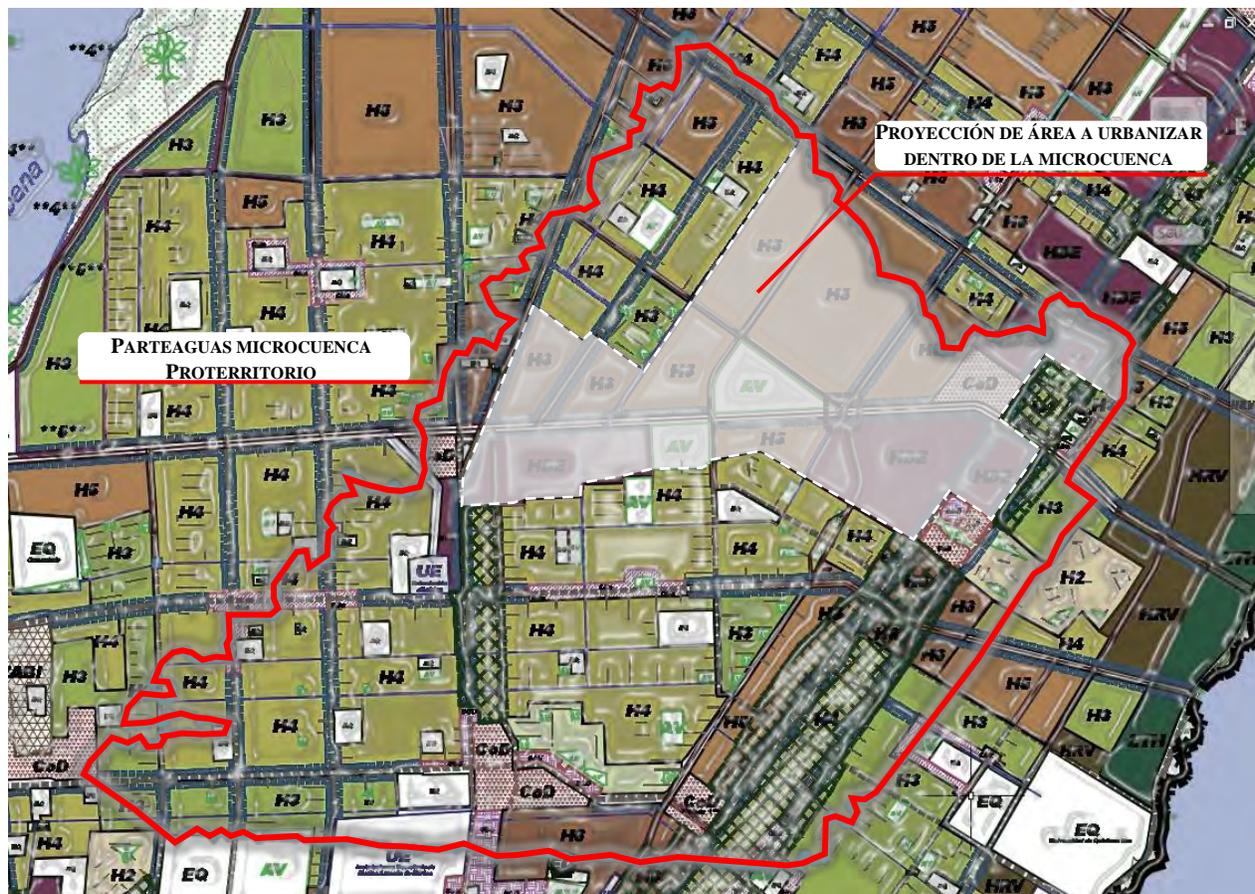
Asimismo, en la sección norte del área de estudio se detectó un área verde no urbanizada, misma que de acuerdo con el PDU ya cuenta con zonificación, en la cual predomina el uso para subcentros urbanos, situación que permite el uso habitacional con usos mixtos en los niveles inferiores, como son el comercial, de servicios y oficinas, alojamiento temporal y del equipamiento de los centros vecinales, de barrio y de subcentro urbano. Este escenario podría resultar en una urbanización a corto plazo que, de continuar con la misma tendencia de ocupación de suelo, generaría problemáticas similares a las actuales en un futuro, de continuar sin tomar en cuenta los problemas presentes de inundaciones.

En zonas críticas de inundación, actualmente, la mayoría de las viviendas son de un solo nivel, prácticamente sin encontrarse viviendas o edificaciones con tres o más niveles. Sin embargo, de acuerdo con las normas urbanísticas como se señala en la Figura 6, existen diversos espacios (aun no urbanizados) que tienen permitida la construcción de entre 3 y 6 niveles. El potencial desarrollado observado en el PDU implicaría un incremento de la vulnerabilidad de la zona de estudio dados la presencia de puntos críticos de inundación y la reducción de espacios permeables. En las zonas críticas de inundación, se puede observar la presencia y consideración de áreas verdes que también se identifican en la zonificación del programa de desarrollo urbano (Figura 6). Dichas áreas son esenciales para la gestión del agua y la reducción del impacto de las inundaciones, sin embargo, las zonas aledañas, como las vialidades y las viviendas, se ven afectadas, lo que resalta la necesidad de considerar soluciones integrales que aborden tanto la zonificación como

la gestión del riesgo de inundaciones, y una revisión del impacto que un desarrollo con usos de suelo H5 (Habitacional, 5 niveles) y H6 (Habitacional, 6 niveles) produciría en el sitio ante las condiciones de inundación y los escenarios de posible reducción o imposibilidad de uso de las vialidades ante eventos hidrometeorológicos críticos.

De acuerdo a la Figura 6, se observa la proyección de calles y espacios a urbanizar próximas a las zonas críticas de inundación según los resultados de la modelación hidrográfica (Figura 5), lo que subraya la importancia de planificar infraestructuras urbanas que no solo funcionen como vialidades, sino que también sean resistentes a las inundaciones ayudando significativamente a reducir la vulnerabilidad, implementando sistemas de drenaje eficientes, creando áreas verdes que actúen como zonas de amortiguamiento y elevando el nivel de las vías y construcciones en áreas propensas a inundaciones.

Figura 6. Zonificación secundaria de la zona de estudio



Nota. Imagen elaborada con apoyo del archivo CAD de la zonificación secundaria de acuerdo a la Actualización 2021 del Programa de Desarrollo Urbano Chetumal Calderitas Subteniente López Huay-Pix Xul-Há

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que destacan la importancia de la alta resolución en la fotogrametría para estudios hidrológicos. Por ejemplo, (Quispe Iporra & Santa Cruz Marín, 2021) y (Bonilla - Granados et al., 2023) subrayan que la fotogrametría con drones ofrece una precisión geoespacial superior para la identificación de características topográficas finas, esenciales para la modelación de procesos hidrológicos. De manera similar, Espino Barajas (2023) demostró que la alta resolución de las ortofotos obtenidas mediante drones permite una mejor detección y análisis de las estructuras del terreno la infraestructura urbana, facilitando una modelación más precisa de inundaciones y otros riesgos naturales. En particular, la capacidad de los drones para captar datos en alta resolución ha permitido una mejora significativa en la identificación de zonas vulnerables a inundaciones, tal como lo demuestra este estudio. Los resultados indican que la zona de estudio, especialmente en las áreas mencionadas, es vulnerable a inundaciones significativas durante eventos pluviales intensos. Esto se ha señalado en López-Villanueva et al. (2022), el cual utilizó modelos hidrológicos para simular escenarios de inundaciones en áreas urbanas y resultó en inundaciones significativas lo que permitió un plan de manejo para la

conducción e infiltración de las aguas pluviales, sin embargo sin proveer detalles de alta resolución espacial de las características de la inundación.

Se evidencian de manera directa la relación entre la zonificación del uso de suelo y la susceptibilidad a inundaciones como un aspecto crucial en la planificación urbana. Al respecto, Rivera Godínez et al. (2021), señalaron que la ocupación de los cambios de uso de suelo y ocupación de zonas inundables, relacionadas con la reducción de áreas verdes contribuye al aumento de la impermeabilización del suelo y los volúmenes de escurrimiento, lo que a su vez aumenta la susceptibilidad a inundaciones en las zonas urbanas.

En ese mismo sentido, Castrillón Ocampo (2014) hace énfasis que realizar un diagnóstico es prioritario para identificar los riesgos que presentan las diversas zonas urbanas y permitirá a los tomadores de decisiones conocer la forma en que probablemente evolucionará como parte de sus actividades de desarrollo, lo que resulta ser un elemento fundamental para proponer soluciones que permitan reducir el riesgo de inundaciones en una determinada zona.

Entonces, en la planificación urbana se debe considerar la mitigación de inundaciones a través de estrategias como regulación de uso de suelo, la preservación de áreas verdes y humedales. Asimismo, la elaboración de un diagnóstico de riesgos y la implementación de sistemas de drenaje adecuados. Al respecto, autores como Rivera Godínez et al. (2021) y Sedano et al. (2013) han destacado que solo a través de una planificación integral que considere los factores mencionados será posible contribuir en la reducción de daños y riesgos asociados con las inundaciones en las ciudades y evitar generar desafíos similares en el futuro para garantizar un desarrollo equilibrado y seguro a largo plazo.

Por ello, la existencia de áreas verdes y equipamiento urbano y regional dentro del área de estudio destaca la necesidad de integrar estrategias de manejo del agua que no solo aborden la protección contra inundaciones, sino también promuevan la sustentabilidad ambiental y la calidad de vida de los residentes. Estos resultados también plantean interrogantes sobre la eficacia de las regulaciones de zonificación existentes en la prevención de riesgos relacionados con inundaciones. ¿Están las normativas de uso del suelo adecuadamente diseñadas para mitigar los impactos de eventos extremos como inundaciones? ¿Qué medidas adicionales podrían implementarse para mejorar la resiliencia de estas zonas ante futuros eventos climáticos?

Conclusiones

Los sistemas de drenaje suelen ser deficientes debido a fallas de diseño y construcción. Con el tiempo, estas deficiencias se ven exacerbadas por la acumulación de basura, animales muertos y desechos humanos en lotes baldíos, y la obstrucción de las alcantarillas debido al crecimiento demográfico (Alarcón, 2017) (Alarcón, 2017).

Los resultados de este estudio proporcionan herramientas y conocimientos prácticos para mitigar los impactos adversos de las inundaciones pluviales y promover el desarrollo urbano sostenible y resiliente en Chetumal y ciudades similares en el sureste de México.

A partir de esta investigación se deben incorporar consideraciones de mitigación y adaptación a inundaciones en los instrumentos de planificación territorial, mejorando así la planificación urbana en contextos de rápido crecimiento urbano y cambio climático (Currie Ríos & Pérez González, 2021; Isabelas Deniz et al., 2019; Zapata Alegría & Cerdá Troncoso, 2019).

El uso de ortofotos fotogramétricamente actualizadas de 1.00 m/píxel mejora significativamente la precisión y confiabilidad del modelado de inundaciones, ofreciendo una herramienta invaluable para la gestión de riesgos y la planificación de medidas de mitigación en áreas propensas a inundaciones.

La relación entre la zonificación del uso del suelo y la gestión del riesgo de inundaciones surge como un enfoque crítico para desarrollar políticas y prácticas urbanas más resilientes en respuesta al cambio climático y los eventos de precipitación extrema.

Las simulaciones se realizaron sin considerar la infraestructura de drenaje existente, por lo que es necesario realizar más investigaciones que incorporen estas obras de ingeniería a los escenarios de inundaciones para evaluar sus efectos con precisión.

Aunque algunos puntos de inundación mostraron niveles de agua más altos que los observados en la realidad, las áreas de inundación más críticas fueron identificadas con precisión, alineándose con los problemas actuales relacionados con las inundaciones.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, M. N. R. (2017). *El desarrollo urbano en el Caribe mexicano construcción social del riesgo en Chetumal, Quintana Roo*.
https://www.academia.edu/36694161/El_desarrollo_urbano_en_el_Caribe_mexicano_construcci%C3%B3n_social_del_riesgo_en_Chetumal_Quintana_Roo

- Alonzo, L., & Vera, M. A. G. (2010). *PERDIDA DE COBERTURA VEGETAL COMO EFECTO DE LA URBANIZACIÓN EN CHETUMAL, QUINTANA ROO*. <https://www.semanticscholar.org/paper/PERDIDA-DE-COBERTURA-VEGETAL-COMO-EFECTO-DE-LA-EN-Alonzo-Vera/52d2dba2b560a56cfd18e16f2ab2c02e3540ac5f>
- Barreiro, A., Domínguez, J. M., C. Crespo, A. J., González-Jorge, H., Roca, D., & Gómez-Gesteira, M. (2014). Integration of UAV Photogrammetry and SPH Modelling of Fluids to Study Runoff on Real Terrains. *PLoS ONE*, 9(11), e111031. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111031>
- Barrera Rojas, M. A. (2020). Pobreza por ingreso y vulnerabilidad frente a inundaciones en Chetumal, Quintana Roo. *Importancia de la infraestructura verde y la planeación para el desarrollo urbano sustentable*, 138-155. <https://doi.org/10.47386/20203007B6>
- Bignami, D., Rosso, R., & Sanfilippo, U. (2019). *Flood Impact on Human Beings Stability* (pp. 25-43). https://doi.org/10.1007/978-3-030-05934-7_3
- Bonilla - Granados, C. A., Sánchez - Tapiero, D. I., & Ramón - Valencia, J. D. (2023). Digitalización de redes de distribución de agua, implementando imágenes satelitales, drones y sistemas de información geográfica. *Respuestas*, 28(3). <https://doi.org/10.22463/0122820X.4156>
- Cabrera, J. (2012). Modelos hidrológicos. *Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Ni-o, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú*, 8.
- Caruso, S. A. (2021). Gambeteando la reserva: Conflictos ambientales y urbanización de humedales. El caso de la Laguna de Rocha (Buenos Aires, Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 30(1), 171-200. <https://doi.org/10.52292/j.rug.2021.30.1.0020>
- Castrillón Ocampo, Y. A. (2014). Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del Río Meléndez (Tesis licenciatura). Universidad del Valle. Colombia.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.
- Currie Ríos, R., & Pérez González, G. (2021). Cambio climático y planificación urbana: Desafíos y oportunidades para la Evaluación Ambiental Estratégica. *Revista de Derecho Ambiental*, 2(16), 73. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2021.60524>
- Dai, L., García, M., & Herrero, A. D. (2020). *Estimación económica de daños potenciales sobre infraestructuras de transporte por inundaciones en el tramo Toro-Zamora*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estimaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-de-da%C3%B1os-potenciales-sobre-de-Dai-Garc%C3%ADa/74d46bae288d649a3938ae8ef1b6128ed1103f4c>
- EL UNIVERSAL. (2023). *Qué nivel de agua puede soportar un auto en una inundación*. El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/que-nivel-de-agua-puede-soportar-un-auto-en-una-inundacion/>
- Ehlschlaeger, C., Metz, M. & Gericke, A. (2021). *GRASS GIS 7.9.dev Reference Manual*. https://mirrors.ibiblio.org/grass/code_and_data/grass79/manuals/r.watershed.html
- Espino Barajas, L. A. (2023). *EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS DRONES PARA LA EVALUACIÓN*.
- Frausto Martínez, O. (2018). *Turismo oscuro: El desastre del huracán Janet de 1955 en la ciudad de Chetumal, México*.
- Garrido, B. B. (2020). *Responsabilidad administrativa de los entes locales por falta de mantenimiento o inadecuación de las instalaciones de saneamiento y alcantarillado*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Responsabilidad-administrativa-de-los-entes-locales-Garrido/d3eeefade733088f59d9c25fca202b94f53fd495>
- Godínez, M. F. R., Magaña, M. P. R., & Guerrero, J. A. H (2021). Inundaciones y uso de suelo en la ciudad de Querétaro.
- Ibarra-Marigal, S. M., Hernández-Montero, Y. N., Nahuat-Sansores, J. R., Rejón-Parra, D. G., Sánchez-Quijano, M. Á., Mena-Rivero, R., Torrescano-Valle, N., Arellano-Guillermo, A., & Romero-Martínez, Á. I. (2022). Diseño urbano sensible al agua para la zona kárstica de Bacalar, Quintana Roo, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3236>
- Isabeles Deniz, K. G., Olavarria Sánchez, Á. M., Quintanilla Montoya, A. L., & Ríos Aguilar, J. (2019). Adaptación metodológica en el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en Colima, México. *Tecnura*, 23(62), 55-72. <https://doi.org/10.14483/22487638.15452>
- Jimenez Sanchez, P. L., González Vera, M. A., Rosas Ferrusca, F. J., & Calderón Maya, J. R. (2021). Impactos socio ambientales de los asentamientos humanos irregulares en zonas y áreas naturales protegidas: Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 87-99. <https://doi.org/10.15446/cep.v8n1.85013>
- Jorquera, E., Weber, J. F., & Reyna, S. M. (2014). *Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada*. 19.

- Lalvay, C., & Mercedes, J. (2022). “Uso de UAV para el levantamiento de variables hidrológicas en la gestión de la subcuenca del río Yanuncay, área dentro de los AMA, Cuenca-Ecuador”.
- Lopardo, L. J., Salvi, P. E., & Lopardo, M. C. (2024). Obras de mitigación sustentables aplicadas a inundaciones urbanas. *Revista Multidisciplinaria de UniSantaCruz*, 2(1), e389. <https://doi.org/10.55905/rmuscv2n1-003>
- López-Villanueva, C. I., Almaraz-Andrade, H. M., Hernández-Hernández, P. A., & Carlón-Martínez, P. (2022). *Modelación hidrológica de una microcuenca para prevenir inundaciones en el AMG*. <https://hdl.handle.net/11117/8255>
- Mesén, R. A., Dostal, C. B., Vargas, D. G. D., & Araúz, M. S. (2006). *METODOLOGÍAS FOTOGRAFÉTRICAS E HIDROLÓGICAS PARA ESTIMAR LA AMENAZA Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PURIRES, CARTAGO, COSTA RICA*.
- Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2003). SCS-CN Method. En S. K. Mishra & V. P. Singh (Eds.), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology* (pp. 84-146). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0147-1_2
- Monroy-Ortiz, R. (2013). Los sistemas urbanos de cuenca en México: Transitando a estrategias integrales de gestión hídrica. *Economía, sociedad y territorio*, 13(41), 151-179.
- NRCS, U. (2007). *National soil survey handbook, title 430-VI*.
- Palom, A. R. i. (2020). *Vulnerabilidad y adaptación a las inundaciones en espacios turísticos del litoral mediterráneo*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Vulnerabilidad-y-adaptaci%C3%B3n-a-las-inundaciones-en-Palom/9e9c68300b7e5bef2d6a21a1a104ace81d5d6040>
- Porcel, G. C., & Díaz, M. A. R. (2014, diciembre 15). *Inundaciones en la Región de Murcia en los inicios del siglo XXI*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Inundaciones-en-la-Regi%C3%B3n-de-Murcia-en-los-inicios-Porcel-D%C3%ADaz/1e7ed9b6939e2472a0ff23e55c5defd796c1eb46>
- Quispe Iporra, J. A., & Santa Cruz Marín, S. M. (2021). *Evaluación del análisis técnico-financiero del área inundable utilizando el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4622>
- Sánchez, G. (2018). *Riesgo y vulnerabilidad por inundaciones. Caso de estudio: Conjunto urbano San Andrés, Municipio de Calimaya*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Riesgo-y-vulnerabilidad-por-inundaciones.-Caso-de-S%C3%A1nchez/aec1602c8274a7e606e9302e15719ca1dc37d9a6>
- Sedano Cruz, R. K. (2013). *Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia (Tesis de maestría)*. Universidad Politécnica de Valencia. España
- SEDATU (2018). PROGRAMA DE DESARROLLO URBANO DE CHETUMAL, CALDERITAS, SUB-TENIENTE LÓPEZ, HUAY PIX Y XULHA. MUNICIPIO DE OTHÓN P. BLANCO. H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, Quintana Roo & Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
- Serie DJI Mavic 3 Enterprise—Drones de inspección cartográfica industrial—DJI Enterprise. (s. f.). DJI. Recuperado 8 de mayo de 2024, de <https://enterprise.dji.com/es/photo>
- Strahler, A. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions*, 38, 913-920.
- Upegui, Z., & Tatiana, P. (2020, febrero 20). *De las montañas al valle: Hacia un nuevo modelo de gestión basado en los vínculos entre la biodiversidad, los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano para el departamento de Tolima, Colombia*. <https://www.semanticscholar.org/paper/De-las-monta%C3%B1as-al-valle%3A-hacia-un-nuevo-modelo-de-Upegui-Tatiana/d0a7e84c3dad1bc13dfdc54d984f65f8bcee7493>
- Yeh, M. L., Chou, Y. T., & Yang, L. S. (2016). The Evaluation of GPS techniques for UAV-based Photogrammetry in Urban Area. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1*, 1079-1084. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1079-2016>
- Zapata Alegría, I., & Cerdà Troncoso, J. F. (2019). Modelo para sustentar un crecimiento urbano resiliente en un contexto de cambio climático. *XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: “Challenges and paradigms of the contemporary city”: UPC, Barcelona, October 2-4, 2019*. Virtual City and Territory. <https://doi.org/10.5821/ctv.8454>



<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a5>

<https://www.facebook.com/avacient>

ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE PERCEPCIONES DE ALUMNOS DE INGENIERÍA INFORMÁTICA SOBRE COMPETENCIAS GENÉRICAS

Pablo Lázaro Hernández¹, Liliana Suárez Téllez²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 30/06/2024 Aceptado: 07/07/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a6>

Resumen.- Este estudio tiene como propósito aportar en los proyectos del eje estratégico de fortalecimiento de la calidad educativa del TecNM, en los proyectos de Actualización del modelo educativo y de Evaluación de los programas educativos. El rediseño curricular es un proceso integral y complejo orientado a garantizar la pertinencia del perfil del egresado y los medios, estrategias y recursos para lograrlo. Este artículo se concentra en la percepción de logro de las competencias genéricas de cuatro grupos de estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática del TESCHA. Para el desarrollo de la metodología se usan técnicas de análisis y visualización de datos. Entre los principales resultados, los estudiantes perciben que desarrollan las competencias de Análisis y síntesis, Conocimientos generales básicos y Manejo de la computadora. Por el contrario, hay área de oportunidad en las competencias de Comunicación con profesionales de otras áreas, Conocimiento de culturas y costumbres de otros países y Conocimiento de una segunda lengua. Incluso una muestra no representativa es un indicador de los grandes retos que tiene el TESCHA en el ámbito curricular.

Palabras Clave: Programas educativos, competencias profesionales, visualización, análisis de datos, rediseño curricular.

ANALYSIS AND VISUALIZATION OF PERCEPTIONS OF COMPUTER ENGINEERING STUDENTS ON GENERIC COMPETENCES

Abstract.- The purpose of this study is to contribute to the projects of the strategic axis of strengthening educational quality of TecNM, in the projects of Updating the educational model and Evaluation of educational programs. Curricular redesign is a comprehensive and complex process aimed at guaranteeing the relevance of the graduate's profile and the means, strategies and resources to achieve it. This article focuses on the perception of achievement of generic competencies of four groups of students in the Computer Engineering program at TESCHA. Data analysis and visualization techniques are used to develop the methodology. Among the main results, students perceive that they develop the skills of Analysis and synthesis, Basic general knowledge and Computer use. On the contrary, there is an area of opportunity in the skills of Communication with professionals from other areas, Knowledge of cultures and customs of other countries and Knowledge of a second language. Even a non-representative sample is an indicator of the great challenges that TESCHA has in the curricular field.

Keywords: Educational programs, professional skills, visualization, data analysis, curricular redesign

Introducción

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública que se constituyó en 2014, para sustituir a la unidad administrativa que anteriormente coordinaba al subsistema de educación superior tecnológica. El TecNM es la institución de educación superior tecnológica más grande de México y está conformado por 254 instituciones. Estas son: 126 Institutos Federales, 122 Institutos Tecnológicos Descentralizados, cuatro Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) (TecNM, 2022a). Tiene 45 planes y programas de Estudio 2009-2017 (TecNM, 2022b).

¹ Profesor Investigador. Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco del TecNM. Licenciado en Administración Industrial por UPIICSA-IPN. Maestría en Docencia Científica y Tecnológica por CIECAS-IPN. Miembro de la RIIED del IPN. pablo_lh@tesch.edu.mx. <https://orcid.org/0009-0006-6410-5022>. (**Autor correspondiente**)

² Profesora Investigadora. Dirección de Formación e Innovación Educativa (DFIE) del IPN y en el CIECAS-IPN. Doctora en ciencias en matemática educativa por el CINVESTAV-IPN. Miembro de la RIIED del IPN y del SIN de México Nivel 1. lsuarez@ipn.mx. <https://orcid.org/0000-0002-4689-8050>

El TecNM se guía por el Modelo Educativo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales. Este modelo busca el desarrollo de profesionales que promuevan “la actividad productiva en cada región del país, la investigación científica, la innovación tecnológica, la transferencia de tecnologías, la creatividad y el emprendedurismo para alcanzar un mayor desarrollo social, económico, cultural y humano” (TecNM, 2015, p. 5). Para cumplir con este propósito se requiere desarrollar en los alumnos competencias con base a los programas educativos.

Dentro de los programas, ejes estratégicos y líneas de acción del TecNM se contemplan proyectos que comprenden al diseño curricular. El Programa de Desarrollo Institucional 2019-2024 del TecNM, responde a los planteamientos y retos del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Cuenta con tres ejes estratégicos: 1. Calidad educativa, cobertura y formación integral; 2. Fortalecimiento de la investigación, el desarrollo tecnológico, la vinculación y el emprendimiento; y 3. Efectividad organizacional; también cuenta con un eje transversal: Evolución con inclusión, igualdad y desarrollo sostenible (TecNM, 2019, p. 13).

Según TecNM (2019), el eje estratégico 1 tiene como objetivo el fortalecer la calidad de la oferta educativa. Como línea de acción establece mejorar la calidad, la pertinencia y la evaluación de los programas académicos de licenciatura y posgrado hacia un nivel de competencia internacional. De los 6 proyectos establecidos en esta línea de acción se mencionan los 3 siguientes:

1. Actualización del modelo educativo del TecNM.
2. Autoevaluación de los programas educativos de nivel licenciatura.
3. Incremento del número de programas acreditados o autoevaluados positivamente en el nivel licenciatura (p. 38).

En el desarrollo de estos proyectos están comprendidos los contenidos curriculares.

Los lineamientos académicos y administrativos que permiten la operación e implementación de los programas del TecNM también consideran a los contenidos curriculares. En el lineamiento del TecNM para la operación de la investigación educativa se presenta como una de las líneas de investigación: Modelos educativos y currículo, la cual incluye, entre otros, aquellos temas orientados al estudio, análisis, mejora, desarrollo e innovación curricular. En la investigación dentro de la institución se estudian los modelos educativos buscando la revisión, el cambio, perfeccionamiento, avance y mejoría de los contenidos de los planes de estudio (TecNM, 2015, p. 138).

La definición del modelo esquemático de los planes de estudio del TecNM, según Gamino y Acosta (2016), se encuentra sustentada en:

1. 1. Formación profesional.
2. 2. Competencia profesional.
3. 3. Quehacer de docente y estudiante.
4. 4. Contenidos educativos:
 5. i. Conceptuales.
 6. ii. Procedimentales.
 7. iii. Actitudinales.
8. 5. Organización e integración curricular.
9. 6. Academias.
10. 7. Créditos (p.3).

Este listado tiene doble número debido a que existen fuentes que incluyen dentro de los contenidos educativos a los conceptuales, procedimentales y actitudinales.

El TecNM, a través de sus programas y lineamientos, declara el propósito de preparar profesionales que desarrollen todas sus capacidades para cumplir con el mejoramiento social, económico, cultural y humano. Para cumplir con el mencionado propósito, en el TESCHA, es importante conocer las percepciones de alumnos que permitan detectar, de forma preliminar, áreas de oportunidad como un acercamiento previo a un proceso de rediseño curricular que impulse la preparación de profesionales con una sólida formación que responda a las necesidades actuales.

El objeto de estudio de la presente investigación son las percepciones que tienen alumnos del TESCHA que estudian la carrera de Ingeniería Informática, en relación a las competencias genéricas que están desarrollando mediante el plan curricular.

El presente estudio tiene como objetivo: analizar y visualizar las percepciones de alumnos de la carrera de Ingeniería Informática del TESCHA acerca de las competencias genéricas que están desarrollando durante su vida académica. Se busca conocer las opiniones de alumnos de esta carrera que permitan describir sus representaciones y apreciaciones en relación al tema. A partir de esto se pueden describir las actitudes que muestran alumnos hacia los contenidos curriculares y detectar áreas de oportunidad, a fin de proponer estrategias para mejorar el logro de sus competencias genéricas. Esta investigación puede ser considerada como parte de un acercamiento previo para iniciar un estudio del proceso de rediseño curricular en esta institución.

Acercamiento a la situación actual del modelo curricular del TecNM

El TecNM adoptó, para su modelo curricular, el Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos (SATCA) que implica un conjunto de criterios simples y unívocos que se utilizan para asignar valores numéricos a todas las actividades de aprendizaje del alumno, establecidas en su plan de estudios para la acumulación y transferencia de créditos, incluso de otras instituciones de educación superior; esto se denomina multiacreditación (Gamino y Acosta, 2016, p. 4).

Los criterios del SATCA son:

1. Docencia.- Se refiere a clases frente a grupo de modo teórico-práctico, presencial o a distancia. Las actividades son, entre otras: Clases, laboratorios, seminarios, talleres y cursos.
2. Trabajo de campo profesional supervisado.- Es el trabajo realizado en la residencia profesional y el servicio social.
3. Actividades complementarias.- Se trata de la tutoría, actividades extraescolares, proyectos de investigación, participación en eventos académicos, productividad laboral y emprendedurismo, entre otras.

La carrera de Ingeniería Informática en el TESCHA tiene como misión: la formación de profesionales que tengan “criterios éticos y humanistas, que apliquen soluciones basadas en las Tecnologías de la información, con el fin de generar desarrollo, innovación y crecimiento económico a las organizaciones, fortaleciendo la responsabilidad social” (TESCHA, 2022a). Al igual que las demás carreras de ingeniería del TecNM, el plan de estudios de Ingeniería Informática tiene 260 créditos que, alineados con los tres criterios del SATCA y de acuerdo a Gamino y Acosta (2016), están distribuidos en seis momentos curriculares:

1. Estructura genérica (incluye asignaturas comunes).
2. Especialidad.
3. Servicio social.
4. Residencia profesional.
5. Actividades complementarias.
6. Titulación integral. (p. 5)

En la tabla 1 se muestra, en la estructura crediticia de la carrera de Ingeniería Informática, la correspondencia de los criterios del SATCA, las asignaturas y actividades académicas y los créditos.

Tabla 1. Estructura crediticia de Ingeniería Informática

Criterio	Asignaturas y actividades académicas	Créditos
Docencia	10 Asignaturas comunes	46
	36 Asignaturas de Ingeniería Informática	164
	5 Asignaturas de la Especialidad	25
Trabajo de campo profesional supervisado	Servicio Social	10
	Residencia profesional	10
Actividades complementarias	Tutoría, actividades extraescolares, proyectos de investigación, participación en eventos académicos, productividad laboral y emprendedurismo, entre otras.	5
	Total de créditos	260

Nota: Elaboración propia con datos de TESCHA (2022) y Gamino y Acosta (2016).

Marco teórico

Rediseño curricular

El rediseño curricular es un proceso de planeación, construcción y actualización del plan de estudios de una carrera o programa; con base a este proceso se establecen “los propósitos formativos, se organiza la trayectoria formativa, los resultados de aprendizaje y las competencias a desarrollar, para el logro de un perfil de egreso/graduación” (Aguayo y

Cortés, 2018, p. 7). Para abordar la complejidad del diseño curricular como objeto de estudio, es necesario constituir un equipo multidisciplinario de investigadores para construir un modelo de gestión del rediseño curricular, el cual tiene como punto de partida la literatura de la Teoría Curricular y las experiencias de los actores educativos (Suárez et al, 2019b, pp. 1 y 2). La construcción de un modelo de gestión fortalecerá al proceso curricular y al currículo.

El currículo es un grupo de asignaturas o disciplinas que conforman un plan de estudios el cual estructura objetivos, contenidos y actividades en un proceso educativo, de manera secuencial y coordinada. El alumno debe cursar este grupo de asignaturas para acreditar u obtener un diploma. El currículo universitario puede verse como un proyecto ya que tiene una visión de conjunto, requiere de formalizarse por escrito, se constituye en un documento visible y público y se convierte en un compromiso que asumen la institución educativa y los docentes (Zabalza, 2012, pp. 20 y 21). Suárez et al (2019a) definen al currículo como un plan operativo en donde se desglosan los saberes de los alumnos, lo que deben hacer los docentes para que sus estudiantes alcancen sus competencias, la descripción del contexto en el que se realiza el proceso educativo y los criterios a utilizar para evaluar lo que ha aprendido el alumno (p. 617).

El currículo debe responder a las necesidades del medio y debe orientarse al desarrollo de las diversas potencialidades, particularidades y necesidades del alumno, para formarlo y capacitarlo a fin de que alcance un desempeño eficiente en el aspecto profesional, personal y social. Para el rediseño curricular es necesaria la participación de todos los integrantes de la comunidad implicados en la formación: docentes, alumnos, empleadores, egresados y directivos de los programas (Aguayo y Cortés, 2018, p. 7).

Los integrantes de la comunidad deben reconocer que el currículo tiene un sentido formativo que se relaciona con aspectos tales como “educación”, “instrucción”, “socialización” y “preparación para el trabajo”. Pero el sentido formativo del currículo va más allá de la instrucción y/o preparación para desempeñarse en un cargo y abarca el dominar los contenidos de las disciplinas que cursa y el adquirir competencias genéricas aplicables para toda la vida, por parte del alumno (Zabalza, 2012, p. 22).

En las instituciones de educación superior (IES), las actividades curriculares comprenden las asignaturas, prácticas, trabajos de titulación o habilitación profesional, talleres y seminarios. Deben permitir que el alumno alcance las competencias contenidas en el perfil de egreso (Aguayo y Cortés, 2018, p. 23). Sin embargo, existen participantes del proceso educativo que consideran, como una de las principales dificultades en los procesos de rediseño curricular, que los alumnos están entre los actores que no son tomados en cuenta, de acuerdo a algunos resultados obtenidos en Suárez et al (2019a), un estudio realizado en Unidades Académicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (p. 619).

Las IES y los actores del proceso educativo han implementado la evaluación de programas educativos como una herramienta para mejorar dicho proceso. Pero la metodología para calificar y evaluar los programas no ha garantizado un conocimiento consistente del nivel de desempeño del currículo. Por lo que es necesario recabar información de los alumnos acerca de sus percepciones para tener una visión completa que permita evaluar los programas a fin de impulsar el mejoramiento del proceso educativo (Corona, 2014, p.2).

El currículo, en cuanto a decisiones sobre su contenido y la manera de evaluar su desarrollo en general, se encuentra dentro de las áreas en donde se pueden concretar los cambios relativos a la innovación educativa, mediante las reformas educativas, según Barraza (2005, como se cita en Soto et al, 2019). Según estos autores, las innovaciones educativas se pueden realizar para introducir nuevas tareas o contenidos curriculares y para usar materiales nuevos o tecnologías curriculares, con la aplicación de nuevas estrategias y enfoques en el proceso educativo o en la modificación de creencias y de los postulados pedagógicos de los actores educativos (p. 44). Un área educativa o sector del currículo puede ser abarcado por la innovación.

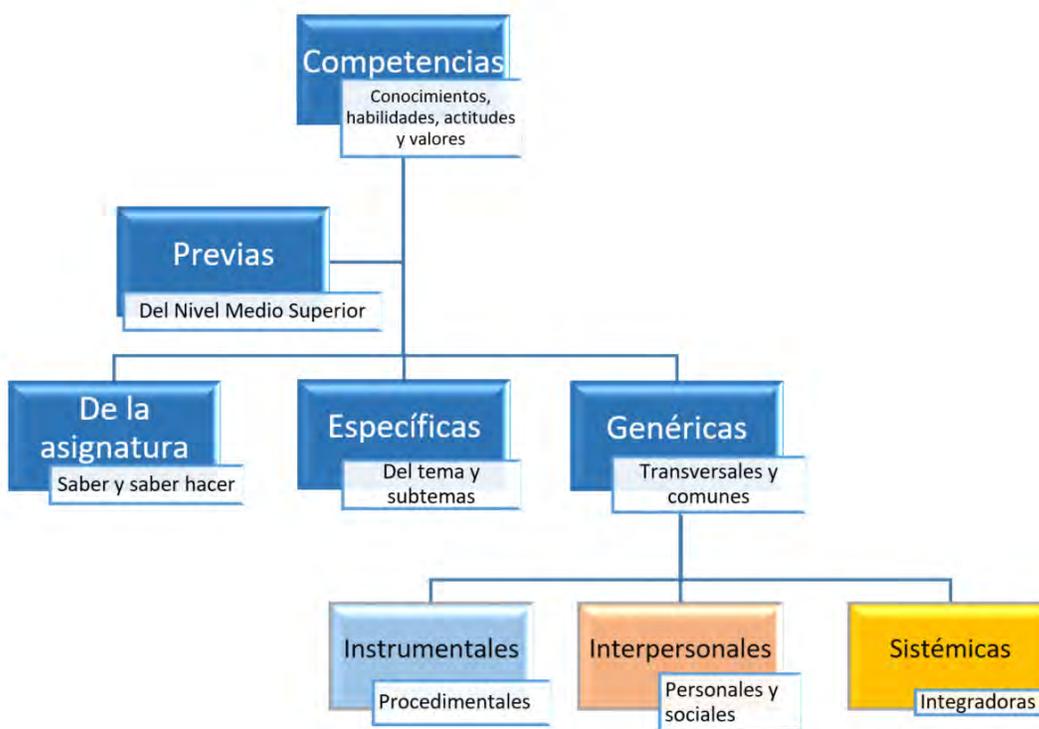
En la investigación contenida en Suárez et al (2019b), al aportar elementos para la construcción de un modelo de gestión de rediseño curricular sustentable para el IPN, en el área de Ciencias Médico Bilógicas, se plantea un estudio descriptivo que tiene tres fases: a) Investigación documental de políticas educativas, referentes internos y referentes externos, con muestra de los avances; b) diseño, evaluación y realización de una encuesta a cargo del equipo de trabajo; y c) entrevistas efectuadas a los actores curriculares: autoridades, docentes y alumnos, entre otros. Dicho estudio genera conocimiento relativo a la labor de rediseño curricular para, entre otros aspectos, observar su desarrollo y las posibilidades de transformación. Pretende sistematizar institucionalmente los procesos de rediseño curricular en el IPN (pp. 8 y 9).

Con base a Suárez et al (2019 a) se puede decir que labor del docente de cualquier área de conocimiento esta principalmente relacionada al diseño, instrumentación y evaluación de situaciones didácticas para conseguir que sus alumnos aprendan el área de conocimiento de que se trate (p. 617). El docente del TESCHA está consciente de la importancia de las competencias profesionales que debe alcanzar el alumno ya que, dentro de su trabajo al inicio del semestre, llena el formato denominado *Instrumentación Didáctica para la Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales*, en donde registra, entre otros temas, la competencia de la asignatura, el análisis por competencias específicas, los temas y subtemas para desarrollar la competencia específica y el desarrollo de competencias genéricas. El docente captura la valoración numérica del nivel de desempeño en la competencia específica alcanzada o no alcanzada (TecNM, 2015, pp. 170 a 172).

Competencias profesionales

Las competencias profesionales son los conocimientos, habilidades, actitudes y valores que permitirán que el egresado se desempeñe con éxito en el ejercicio de su profesión. Las competencias profesionales y su clasificación se representan en la figura 1 en dónde, de forma sintética, se describen sus principales características.

Figura 1. Competencias profesionales.



Nota: Elaboración propia con datos de (TecNM, 2015, pp. 170 a 181)

El alumno de nuevo ingreso tiene competencias que adquirió en el Nivel Medio Superior; estas son competencias previas que le facilitarán el trayecto de la carrera de Ingeniería Informática y, de acuerdo con TESCHA (2022b), son conocimientos, habilidades, actitudes y valores, los cuales se pueden describir de la siguiente manera:

Conocimientos y Habilidades: Debe tener capacidad de abstracción y análisis que le permita desarrollar sistemas de información de acuerdo con situaciones que se presentan en el sector productivo, público o privado. Debe contar con autodidactismo, entendido como la disposición para estudiar e investigar por sí solo. Debe tener conocimientos fisico-matemáticos a nivel medio superior y conocimientos de computación en relación al manejo de la computadora, a la ofimática y, de preferencia, de programación.

Actitudes y Valores: Debe tener disponibilidad para el estudio, lectura e investigación. Debe mostrar creatividad e innovación para el diseño y generación de sistemas de información. Debe poseer responsabilidad y tenacidad, que le garanticen consolidar sus proyectos.

La competencia de la asignatura es la competencia concreta que se requiere que el alumno alcance adecuadamente en el trayecto de la asignatura, a través del proceso formativo, respondiendo a la pregunta: ¿Qué debe saber y saber hacer el alumno? La competencia específica, incluida también en la figura 1, es aquella que se pretende que el alumno alcance adecuadamente mediante el tratamiento del tema y subtemas correspondientes, dentro del proceso formativo en el trayecto de la asignatura.

Las competencias genéricas, las cuales se detallan en la tabla 2, son habilidades o capacidades transversales, comunes a todas las profesiones.

Tabla 2. Competencias genéricas

Competencias instrumentales	Competencias interpersonales	Competencias sistémicas
1) Capacidad de análisis y síntesis 2) Capacidad de organizar y planificar 3) Conocimientos generales básicos 4) Conocimientos básicos de la carrera 5) Comunicación oral y escrita en su propia lengua 6) Conocimiento de una segunda lengua 7) Habilidades básicas de manejo de la computadora 8) Habilidades de gestión de información (habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas) 9) Solución de problemas 10) Toma de decisiones.	1) Capacidad crítica y autocrítica 2) Trabajo en equipo 3) Habilidades interpersonales 4) Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario 5) Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas 6) Apreciación de la diversidad y multiculturalidad 7) Habilidad para trabajar en un ambiente laboral 8) Compromiso ético	1) Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica 2) Habilidades de investigación 3) Capacidad de aprender 4) Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones 5) Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 6) Liderazgo 7) Conocimiento de culturas y costumbres de otros países 8) Habilidad para trabajar en forma autónoma 9) Capacidad para diseñar y gestionar proyectos 10) Iniciativa y espíritu emprendedor 11) Preocupación por la calidad 12) Búsqueda del logro

Nota: Elaboración propia con datos de TecNM (2015)

Se clasifican, de acuerdo con TecNM (2015, pp. 178-181) y González y González (2008, p. 193) de la siguiente manera:

- a) Competencias instrumentales: Son de orden metodológico o procedimentales relacionadas a la comprensión y manipulación de ideas, metodologías, equipo y destrezas como las lingüísticas, de investigación, de análisis, síntesis, organización, planeación y de la información.
- b) Competencias interpersonales: Conocidas también como personales, son capacidades individuales referidas a la expresión de los propios sentimientos, habilidades críticas y de autocrítica. Facilitan los procesos de interacción social y cooperación, como la capacidad para el trabajo en equipo, el manejo de relaciones interpersonales y el compromiso ético.
- c) Competencias sistémicas: Son conocidas también como integradoras y se refieren a los sistemas como un todo. Incluyen la comprensión, la sensibilidad y el conocimiento que permiten al individuo concebir la forma en que las partes de un todo se relacionan, se organizan y se concentran. Comprenden la capacidad de planear como un todo y diseñar sistemas nuevos. Se refieren al aprendizaje autónomo, la adaptación a nuevas situaciones, la creatividad y el liderazgo.

De acuerdo a TecNM (2015) las competencias sistémicas necesitan, como base, adquirir previamente las competencias instrumentales y las competencias interpersonales (p. 180).

Con este contexto, y con el propósito de aportar nuevos saberes, planteamos la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las percepciones que tienen alumnos de Ingeniería Informática del TESCHA en relación al desarrollo de las competencias genéricas que están alcanzando a través del plan curricular?

Hernández et al (2010) afirman que, además de la definición de los objetivos concretos, es necesario plantear el problema que se investigará a través de una o varias preguntas, siendo que las preguntas deberán de resumir lo que

habrá de ser la investigación (p.37). Monje (2011) identifica al problema del investigador como una pregunta que requiere de una respuesta, la cual debe ser resuelta o investigada mediante la aplicación del método científico (p.59). Monroy y Nava (2018) declaran que la delimitación de un tema significa su reducción a fin de controlar la investigación y hacerla viable, para ahorrar recursos; esta delimitación es concreta y dirigida, preferentemente, a responder a una pregunta específica (p. 82).

Técnicas de análisis y visualización de datos

Los análisis avanzados están influyendo en casi todos los aspectos del negocio; las soluciones de análisis avanzado están llegando a ser cada vez más populares y hacen crecer los negocios a través de la creación de ventajas competitivas, monetizando los recursos disponibles tales como los activos de la información dentro y fuera de la empresa (Laney, 2017). Google Analytics proporciona información valiosa sobre el tráfico del sitio web y la eficacia del plan de marketing, atendiendo las necesidades de comunicación de sus clientes a través de gráficas en donde se presentan datos relativos de usuarios: fechas y número de visitas, visitantes únicos, páginas vistas, promedio de páginas vistas, tiempo en el sitio, nuevas visitas, perfil de usuarios, entre otros datos (Lebrón, 2011, pp.11 y 18).

Los profesionales de la comunicación y los investigadores sociales, para comprender la relevancia de contenidos que se generan desde las cuentas de Twitter (actualmente X), usan herramientas para analizar y visualizar los mensajes a fin de trabajar con gran cantidad de datos semiestructurados (Castro et al, 2017, p. 15). Las empresas usan el tablero de control que es un conjunto de indicadores, basado en nuevas tecnologías informáticas, cuyo seguimiento y evaluación periódica permiten un mayor conocimiento de su situación (Ballvé, 2023 pp. 64 y 65).

Las técnicas del análisis y visualización de datos, usadas en la metodología de este artículo, se obtuvieron del curso de Guymon (2020). De acuerdo con Berkson J., s.f. citado por Few (2009), la visualización de datos efectiva es una conclusión que golpea entre los ojos, es decir, que causa impacto inter ocular, puesto que impulsa a dirigir la atención de forma rápida y memorable a las principales conclusiones representadas. Suele conducir a preguntas. La minería de datos son métodos específicos para explorar datos masivos y el 80% de la minería de datos se dedica al proceso de limpieza y preparación de los datos (Dasu y Johnson, 2003, p.X).

Wickham (2014) considera que, como parte de la limpieza de datos, la ordenación de datos es muy importante y establece que los conjuntos de datos ordenados son sencillos de manipular, modelar y visualizar, teniendo una estructura específica: cada variable es una columna, cada observación es una fila y cada tipo de unidad de observación es una tabla (p.1). Dasu y Johnson (2003) indican que frecuentemente un conjunto de datos es un mosaico de datos recopilados de varias fuentes, que no habrían sido diseñados para su unificación; por ejemplo, cuando dos empresas corporativas diferentes, que dan servicio a una base de clientes comunes, se fusionan para convertirse en una sola empresa (p. X).

Curto (2016) establece dentro de las técnicas y métodos analíticos: Regresión, Clasificación, Clustering, Análisis de asociaciones, Detección de anomalías, Minería de textos, Análisis de series temporales, Redes neuronales y Structural equation models (pp. 47 y 48). Existen herramientas, como *Excel*, que hacen que el análisis de datos sea más simple, rápido e intuitivo, a través de elementos visuales como tablas, gráficos o tablas dinámicas que luego pueden insertarse en un libro de trabajo (Microsoft, 2024). Ball y Brown (1968) afirman que la teoría contable generalmente evalúa la utilidad de las prácticas contables de acuerdo al nivel de coincidencia con un modelo analítico particular, conformado por algunas afirmaciones o consistente en un argumento rigurosamente desarrollado (p.159).

Correlation and Regression. (s.f.) afirma que, en regresión lineal simple, el conjunto de supuestos es una descripción matemática entre variables; un modelo es el conjunto de estos supuestos. Wickham (2014) describe un modelo como una conexión entre diferentes variables, un lenguaje de dominio específico que conecta respuestas con predictores (p. 14). Un modelo predictivo permite realizar un análisis para reconocer la correlación entre un conjunto de variables de datos de entrada y una variable de salida, procurando tener salidas esperadas (Alarcón y Bravo, 2021, pp. 40 y 41). Algunos conceptos relativos a Correlación y regresión lineal, en el presente estudio, se investigaron de Laguna (s.f.), para la optimización del análisis y visualización de la información.

Rovira y Pascual (2021) dicen que existen principios del diseño a considerar para crear una visualización de datos:

1) Menos es más. Se refiere a que es mejor simplificar nuestra comunicación con gráficos, enfatizando aquello que nos permite aclarar su significado y prescindiendo de elementos decorativos.

- 2) La forma sigue a la necesidad. Se elige un gráfico porque se requiere resolver una necesidad específica de comunicación o análisis, no porque resulte visualmente atractiva.
- 3) Equilibrio Funcionalidad – Estética. La simplicidad y la funcionalidad deben estar hermanados con la estética (pp. 161-167).

Materiales y métodos

En el presente trabajo, la metodología se ha seguido puntualmente utilizando el método de investigación cuantitativo el cual, de acuerdo con Hernández et al (2010), entre otros elementos, incluye: exposición de un problema de investigación acotado y concreto con la formulación de la pregunta, la revisión de la literatura y la estructuración de un marco teórico, los datos presentados de forma numérica y que busca ser un estudio objetivo.

Se ha utilizado un método de investigación cuantitativo para describir las percepciones de alumnos del TESCHA, en enero de 2023, relativas a las competencias alcanzadas. Se realizó a través de la preparación, la realización y el análisis de una encuesta a alumnos del TESCHA que estudian la carrera de Ingeniería Informática. Se efectuó la encuesta utilizando una muestra por conveniencia, no representativa, de 92 alumnos, siendo 55 hombres y 37 mujeres. Estos alumnos son de los semestres: 1º. (33 alumnos), 2º. (7 alumnos), 3º. (30 alumnos) y 7º. semestre (22 alumnos). Los datos están completos porque se obtuvo la información del total de la muestra. Todos y cada uno de los alumnos de la muestra determinada dieron respuesta a todas y cada una de las preguntas. No quedó ninguno de los 92 alumnos pendiente de enviar sus respuestas y no quedó ninguna de las 33 preguntas pendientes de ser respondida.

Al definirse que la muestra es no representativa se ha considerado, con base a lo que dice el autor Villarroel (2018, como se cita en Castro, 2019), que todos los cálculos realizados solo serán válidos para la muestra, por lo que no se ha buscado extrapolar estos resultados a todos los alumnos del TESCHA. Este autor ubica al muestreo por conveniencia dentro de las clasificaciones del muestreo no probabilístico y establece que se usa por la facilidad de acceso para los investigadores; acepta que hay sesgo de selección y afirma que es el muestreo más frecuentemente usado (pp.53 y 54).

La investigación se integró por tres momentos: 1) construcción de los marcos contextual y teórico, 2) investigación de campo, 3) análisis de la información y discusión de resultados. En la revisión de la literatura, a fin de enriquecer las perspectivas del tratamiento del tema, se efectuó un estudio de gabinete en donde se consultaron varias fuentes: documentos y sitios institucionales del TecNM y del TESCHA. Se consultaron otras fuentes de datos sobre el tema de competencias, para adecuar este estudio y alcanzar el objetivo planteado, con los recursos disponibles. Entre estas investigaciones están: Corona (2014), González y González (2008), Solanes et al (2008) y Contreras et al (2018).

El instrumento de investigación elegido fue una encuesta a través del diseño de un cuestionario en un formulario de la plataforma de Google Drive. Este cuestionario ha sido autoadministrado por envío en esta plataforma. Se ha empleado una escala de Likert, con 30 preguntas cerradas de opción múltiple que enuncian cada una las competencias genéricas detalladas en la tabla 2, eligiendo el alumno la categoría en la que considera que se encuentra cada una de las competencias genéricas. En el inicio, el cuestionario hace la siguiente afirmación:

“A través de tu vida académica en el TESCHA se pretende que desarrolles algunas competencias adecuadas (conocimientos, habilidades, actitudes y valores).

En esta institución estás desarrollando las siguientes competencias:”

A continuación, el cuestionario enlista las 30 competencias y el alumno selecciona, en cada una de ellas, una de las siguientes categorías:

- a) Totalmente de acuerdo
- b) De acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) En desacuerdo
- e) Totalmente en desacuerdo

Al final del cuestionario se incluyen 3 preguntas abiertas para que el alumno especifique: 1) la competencia que ha desarrollado más, 2) la competencia que ha desarrollado menos y 3) una recomendación para que pueda desarrollar más adecuadamente estas competencias. El cuestionario se ha diseñado de tal forma que, en las preguntas, no se le menciona al alumno la clasificación de las competencias. Con base a las características y necesidades del presente estudio, se realizó la validación de las preguntas del cuestionario aplicando una encuesta piloto a un alumno de ingeniería de una institución del IPN, para revisar la claridad de los cuestionamientos.

En este estudio no hay respuestas correctas o incorrectas ya que los alumnos han respondido con base a sus percepciones, en relación a los niveles de desarrollo de sus competencias. Una vez obtenidas las respuestas de los alumnos encuestados, para ensamblar los datos, se ha descargado la información de Google Drive en una hoja de *Excel*, conformándose así una base de datos. Se han generado el análisis y visualización de las percepciones de los alumnos acerca del logro que están teniendo respecto a las competencias genéricas. Esta percepción se ha podido evaluar considerando la valoración de los alumnos en la encuesta.

A los datos recabados se les ha aplicado un proceso de limpieza y formateo necesarios para su análisis y visualización, estructurándolos de diferentes maneras, dependiendo del tipo de gráfica y la información a presentar en cada una de las visualizaciones. En la figura 2 se muestra una sección de la base de datos en la que se quitó la columna del nombre del alumno y se ordenó la información por grupo. En este formato de la base de datos se dividieron los totales de las respuestas de acuerdo a la clasificación de las competencias genéricas: instrumentales, interpersonales y sistémicas.

Figura 2. Sección de la base de datos.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	No.	Fecha	Matrícula	Género	Ingeniería	Semestre	1) La capacidad de ar	2) Capacidad de orga	3) Conocimientos gen	4) Conocimientos bás	5) Destreza para la C	6) Conocimiento de un	7) Habilidades bá
2	1	17/01/2023	202226011	Masculino	Informática	1	4	4	4	4	4	2	4
3	2	17/01/2023	202226008	Femenino	Informática	1	5	4	5	5	4	5	5
4	3	17/01/2023	202226080	Masculino	Informática	1	3	3	4	3	3	4	4
5	19	17/01/2023	202226064	Femenino	Informática	1	4	4	4	4	4	2	4
6	24	17/01/2023	202226048	Masculino	Informática	1	4	3	4	4	3	2	5
7	26	17/01/2023	202226069	Masculino	Informática	1	4	4	4	4	4	3	4
8	27	17/01/2023	202226010	Masculino	Informática	1	5	4	5	5	4	5	5
9	28	17/01/2023	202226025	Masculino	Informática	1	4	4	4	4	4	3	4
10	32	18/01/2023	202226072	Masculino	Informática	1	5	5	4	4	5	5	5
11	33	18/01/2023	202226053	Femenino	Informática	1	4	4	5	4	4	4	4
12	37	18/01/2023	202226032	Masculino	Informática	1	3	4	4	3	3	3	4
13	40	18/01/2023	202226059	Femenino	Informática	1	5	5	5	5	5	4	5
14	52	19/01/2023	202226077	Femenino	Informática	1	4	4	4	5	5	2	4
15	53	19/01/2023	202226081	Masculino	Informática	1	3	4	2	2	3	3	2
16	54	19/01/2023	202226049	Femenino	Informática	1	4	4	4	4	3	2	4
17	55	19/01/2023	202226086	Masculino	Informática	1	4	3	4	3	5	2	4
18	56	19/01/2023	202226016	Masculino	Informática	1	4	4	4	4	4	4	4
19	59	20/01/2023	202226038	Femenino	Informática	1	4	4	3	4	4	2	3
20	60	20/01/2023	202226085	Masculino	Informática	1	4	4	5	4	5	4	4
21	61	20/01/2023	202226013	Masculino	Informática	1	4	4	4	4	3	3	4
22	62	20/01/2023	202226060	Masculino	Informática	1	3	4	5	4	4	3	4
23	63	20/01/2023	202226001	Femenino	Informática	1	5	5	4	4	4	3	4
24	64	20/01/2023	202226062	Masculino	Informática	1	5	5	5	5	4	1	5
25	65	20/01/2023	202226017	Femenino	Informática	1	4	3	3	3	4	3	4
26	66	20/01/2023	202226046	Masculino	Informática	1	4	3	4	4	4	4	4
27	67	20/01/2023	202226037	Masculino	Informática	1	4	2	2	3	2	3	5
28	83	21/01/2023	202226033	Femenino	Informática	1	4	4	4	4	4	4	4

Nota: Elaboración propia.

En la base de datos generada en *Excel* se sustituyó la respuesta del alumno por la puntuación que se presenta en la Tabla 3, en la que se muestran las categorías de la escala de Likert y las puntuaciones asignadas. Se obtuvo el total de las puntuaciones de cada uno de los reactivos, por competencia genérica y por grupo.

Tabla 3. Categorías de la escala de Likert y puntuaciones asignadas

Categoría	Puntuación
a) Totalmente de acuerdo	5
b) De acuerdo.	4
c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo.	3
d) En desacuerdo.	2
e) Totalmente en desacuerdo	1

Nota: Elaboración propia.

Para calcular los resultados se han utilizado tablas dinámicas en *Excel*, como la tabla dinámica que se presenta en la figura 3. Para la visualización y análisis de las respuestas de los alumnos se han empleado las funciones de elaborar Gráficos y las Herramientas de Análisis de Datos, tales como Correlación, Regresión y Estadística Descriptiva y se han creado visualizaciones en la hoja de datos de *Excel*.

Figura 3. Tabla dinámica.

Competencia	Reactivos	Suma de Puntuación
Instrumentales	1) Análisis y Síntesis	391
Instrumentales	10) Toma de decisiones	379
Instrumentales	2) Organizar y planear	382
Instrumentales	3) Conocimientos generales básicos	389
Instrumentales	4) Conocimientos básicos de la carrera	379
Instrumentales	5) Comunicación oral y escrita	367
Instrumentales	6) Conocimiento de segunda lengua	315
Instrumentales	7) Manejo de computadora	386
Instrumentales	8) Gestión de la Información	385
Instrumentales	9) Solución de problemas	379
Instrumentales	Instrumentales	3752
Interpersonales	11) Crítica y autocrítica	374
Interpersonales	12) Trabajo en equipo	382
Interpersonales	13) Interacción social y cooperación	369
Interpersonales	14) Trabajar en equipo interdisciplinario	361
Interpersonales	15) Comunicación con otras áreas	350
Interpersonales	16) Apreciar la diversidad y multiculturalidad	367
Interpersonales	17) Trabajar en un ambiente laboral	369
Interpersonales	18) Compromiso ético	385
Interpersonales	Interpersonales	2957
Sistémicas	19) Aplicar los conocimientos en la práctica	374
Sistémicas	20) Habilidades de investigación	379
Sistémicas	21) Capacidad de aprender	373
Sistémicas	22) Adaptarse a nuevas situaciones	376
Sistémicas	23) Generar nuevas ideas	369
Sistémicas	24) Habilidades de Liderazgo	367
Sistémicas	25) Conocimiento de culturas y costumbres de otros países	337
Sistémicas	26) Trabajar en forma autónoma	384
Sistémicas	27) Diseñar y gestionar proyectos	371
Sistémicas	28) Iniciativa y espíritu emprendedor	373
Sistémicas	29) Preocupación por la calidad	377
Sistémicas	30) Capacidad de búsqueda del logro	380
Sistémicas	Sistémicas	4460

Nota: Elaboración propia

El presente trabajo de investigación, en cuanto a su alcance, es exploratorio y descriptivo. Es exploratorio porque aborda un tema que no ha sido tratado en anteriores estudios del TESCHA: el análisis y visualización de las percepciones que tienen alumnos con respecto a los niveles de desarrollo de las competencias genéricas. Es descriptivo puesto que especifica las características de dichas percepciones

Resultados

En la figura 4, se presenta el mapa de árbol de las competencias genéricas realizado a partir de la tabla dinámica mencionada en el apartado anterior. El mapa de árbol se utiliza para dirigir la atención a los porcentajes de las valoraciones de las competencias genéricas, debido a que dichos valores son datos jerárquicos. Esta visualización representa un marco de datos ordenado de las 30 competencias, en donde la clasificación de las competencias sistémicas, instrumentales e interpersonales está representada por un gran rectángulo dividido en rectángulos de color naranja, azul y rojo, respectivamente. El orden y tamaño de los 3 rectángulos grandes, de izquierda a derecha y de arriba abajo, va en función al número de reactivos dentro del cuestionario (12, 10 y 8), siendo el de la izquierda el mayor. En cada uno de estos grandes rectángulos, el rectángulo pequeño en la parte superior izquierda representa el porcentaje más alto, y va descendiendo el porcentaje de izquierda a derecha, teniendo en la esquina inferior derecha el menor valor, según la valoración obtenida en la encuesta.

Funcionando como un tablero interactivo, al señalar con el cursor cada una de las competencias, en la gráfica de la hoja de cálculo van apareciendo: el nombre completo de la competencia y el porcentaje de la valoración. Como ejemplo, en la figura se señala la competencia mejor calificada de las competencias instrumentales: “1) Análisis y Síntesis”, la cual tiene la valoración promedio de 85.0 %. Este resultado lo obtiene la hoja de cálculo dividiendo la valoración total de esa competencia, obtenida de los 92 encuestados (391 puntos), entre el máximo total de valoración que se podría obtener (5 puntos x 92 encuestas = 460 puntos). De esta forma: $(391/460) \times 100 = 85.0 \%$.

La gráfica de proyección solar de las competencias genéricas, presentada en la figura 5, es elaborada a partir de la tabla dinámica mencionada. Esta gráfica tiene un propósito similar al del mapa de árbol, pero puede presentar más niveles de jerarquía.

Figura 4. Mapa de árbol de las competencias genéricas.

Sistémicas			Instrumentales		Interpersonales	
26) Trabajar en forma autónoma	30) Capacidad de búsqueda del logro	20) Habilidades de investigac...	1) Análisis y Síntesis	3) Conocimientos generales básicos	18) Compromi... ético	12) Trabajo en equipo
29) Preocupa... por la calidad	22) Adaptarse a nuevas situaciones	19) Aplicar los conocimie... en la práctica	Punto "1) Análisis y Síntesis" Valor: 85.0%		11) Crítica y autocrítica	13) Interacción social y cooperación
21) Capacidad de aprender	27) Diseñar y gestionar proyectos	23) Generar nuevas ideas	7) Manejo de computadora	8) Gestión de la Información	17) Trabajar en un ambiente laboral	16) Apreciar la diversidad y multicultur...
28) Iniciativa y espíritu emprende...	24) Habilidades de Liderazgo	25) Conocimi... de culturas y costumbr...	2) Organizar y planear	10) Toma de decisiones	14) Trabajar en equipo interdiscipl...	15) Comunica... con otras áreas
			4) Conocimientos básicos de la carrera	5) Comunicación oral y escrita		
			9) Solución de problemas	6) Conocimiento de segunda...		

Nota. Elaboración propia

Figura 5. Gráfica de proyección solar de las competencias genéricas.



Nota. Elaboración propia

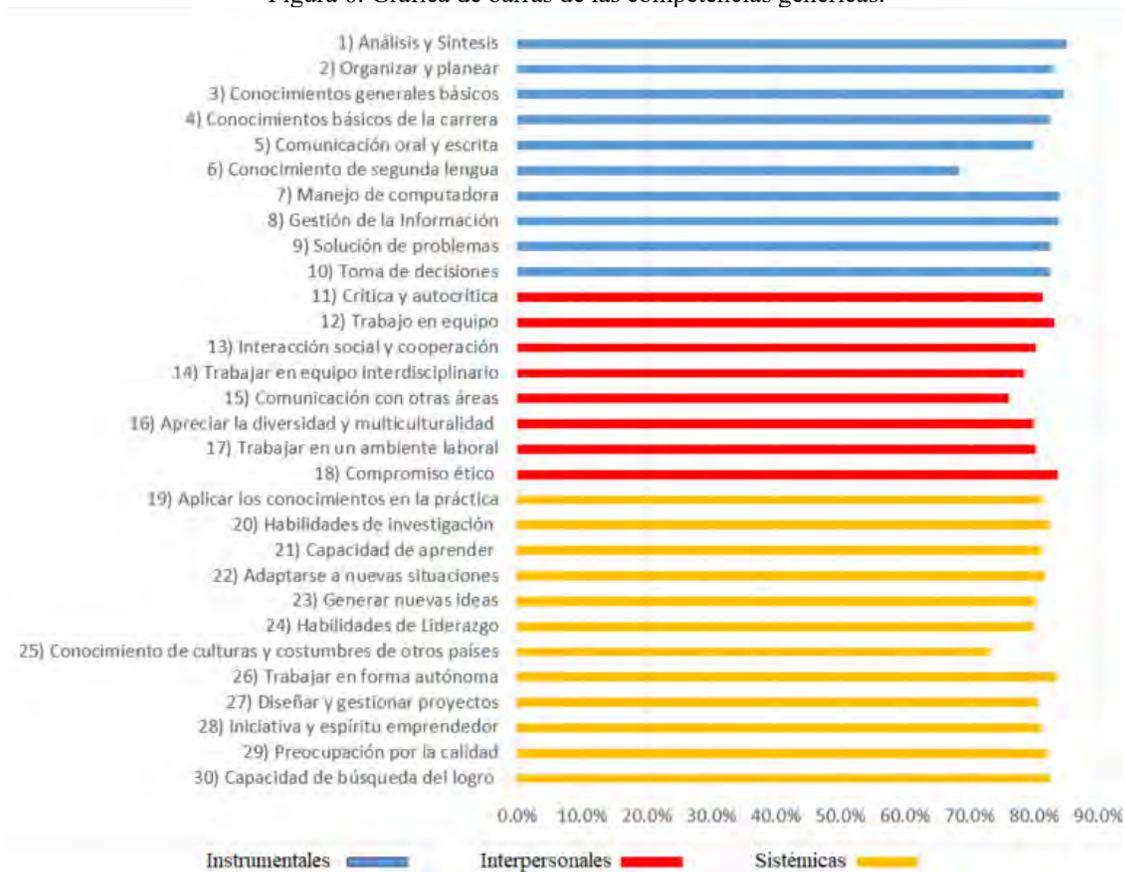
Existen dos anillos alrededor del centro. El anillo interno es el nodo raíz o categoría principal que corresponde a la clasificación de las competencias genéricas: sistémicas, instrumentales e interpersonales. El anillo externo muestra el nombre de la competencia y la proporción de la valoración en cada uno de los 30 reactivos correspondientes a cada competencia.

En esta visualización también es importante el color y el orden. El color está determinado por el anillo interno y el orden se basa en las valoraciones más grandes a partir de las 12 en punto. De acuerdo a la figura No. 6, se tiene una vista rápida de los tamaños relativos de los reactivos asignados a la clasificación de las competencias genéricas: sistémicas, instrumentales e interpersonales, representadas por los colores naranja, azul y rojo, respectivamente. La disposición de estos colores se debe al número de competencias: 12, 10 y 8, para las sistémicas, instrumentales e interpersonales, de forma respectiva.

De una mirada es fácil ubicar, empezando por la parte superior a las 12 en punto y en el sentido de las manecillas del reloj, que la competencia sistémica mejor calificada, en promedio, es la “26. Trabajar en forma autónoma, 83.5%” y la peor evaluada es “25. Conocimiento de culturas y costumbres de otros países, 73.3%”, al final de la sección de color naranja. En el caso de las competencias instrumentales son “1) Análisis y Síntesis, 85 %” la más alta y “Conocimiento de segunda lengua, 68.5%” la más baja. Y tratándose de las competencias interpersonales, se tienen “18) Compromiso ético, 83.7 %” y “15) Comunicación con otras áreas, 76.1%”, respectivamente. La gráfica de proyección solar, se utiliza para mostrar cantidades relativas, por lo que en ocasiones cuesta trabajo mostrar una correcta proporción con las competencias que tienen títulos largos. Ya que en esos casos no se guarda al cien por ciento la proporción. En el caso de esta gráfica, también es factible deslizar el cursor sobre ella para que se muestre el nombre completo de la competencia y el valor, en un mayor tamaño.

La gráfica de barras de la figura 6 se utiliza, al igual que el mapa de árbol, para comunicar las comparaciones relativas del promedio de valoraciones de cada una de las competencias.

Figura 6. Gráfica de barras de las competencias genéricas.



Nota. Elaboración propia.

Se crea también a partir de una tabla dinámica. La gráfica de barras de las competencias genéricas muestra los promedios de valoración de cada una de las 30 competencias genéricas.

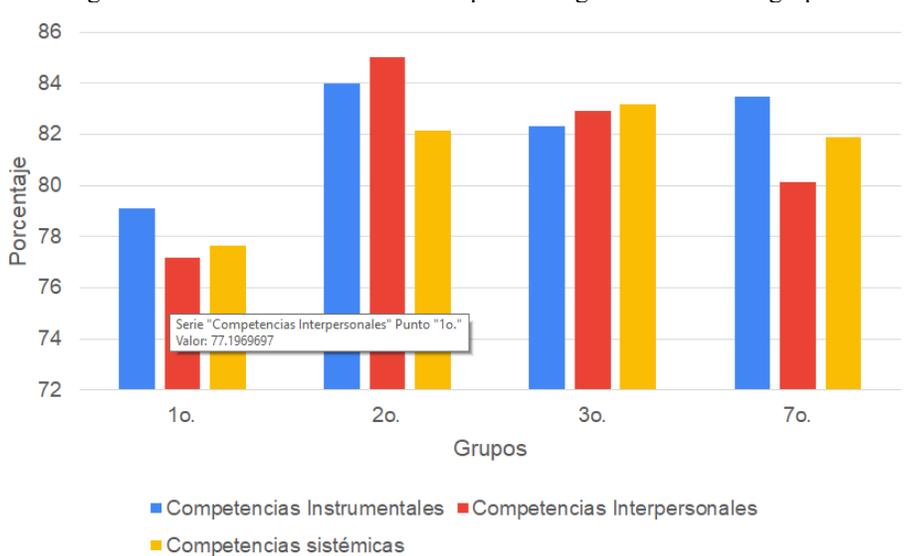
En el eje de las *y* se incluyen, por número de orden ascendente, los nombres de las 30 competencias y en el eje de las *x* se representa el promedio de las valoraciones de cada una de ellas. La clasificación de las competencias genéricas se divide por color. De esta manera es muy fácil ubicar visualmente que las competencias instrumentales son 10, que las competencias interpersonales son 8 y que las competencias sistémicas son 12 competencias.

En esta visualización existe interacción también ya que, pasando el cursor por cada una de las barras, se van mostrando los valores del promedio de cada competencia. Resalta a simple vista que la barra más pequeña corresponde a la competencia 6 y al señalarla con el cursor, se presenta la información correspondiente “ ‘6) Conocimiento de segunda lengua’ Valor: 68.5”. Al igual que en el caso del mapa de árbol, este porcentaje lo obtiene la hoja de cálculo dividiendo la valoración total de esa competencia, obtenida de los 92 encuestados (315 puntos), entre el máximo total de valoración que se podría obtener (5 puntos x 92 encuestas=460). De esta forma: $315/460 \times 100 = 68.5\%$.

Las otras dos barras más pequeñas son: 25) Conocimientos de culturas y costumbres de otros países y 15) Comunicación con profesionales de otras áreas, con 73.3% y 76.1%, respectivamente. Al repasar con el cursor las barras de mayor tamaño, se obtiene que la más altas son: 1) Análisis y síntesis, seguida de 3) Conocimientos generales básicos y 7) Manejo de computadora, con 85.0%, 84.6 y 83.9 respectivamente. Al calcular un promedio de los promedios de valoraciones de las 30 competencias el resultado es: 80.9%.

La gráfica de barras de las competencias genéricas de cada grupo, que se presenta en la figura 7, parte de su tabla dinámica correspondiente y presenta la valoración promedio de las competencias por cada uno de los 4 grupos de alumnos encuestados. Esta agrupación, por grupo y por clasificación de competencias, permite visualizar rápidamente las calificaciones que asignan los alumnos de los diferentes grupos. Se puede ver que la valoración promedio más baja se da en los alumnos de primer semestre, siguiéndole los alumnos del séptimo semestre; en los dos grupos se ubican, de menor a mayor, las interpersonales, las sistémicas y las instrumentales. Le siguen el grupo de tercer semestre colocándose de menor a mayor: las instrumentales, las interpersonales y las sistémicas. La valoración promedio más alta la tiene el grupo de segundo con: las sistémicas, las instrumentales y las interpersonales, respectivamente.

Figura 7. Gráfica de barras de las competencias genéricas de cada grupo.



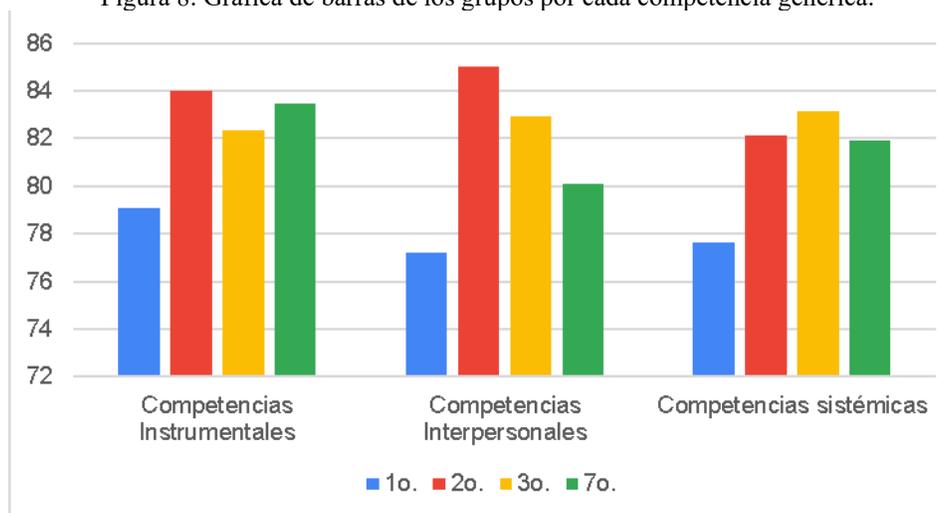
Nota. Elaboración propia.

En esta visualización, utilizando la interactividad, al señalar la barra que es visiblemente más pequeña, aparecen los datos: “Serie ‘Competencias Interpersonales’ Punto ‘1o.’ Valor: 77.1969697”. Este resultado lo obtiene la hoja de cálculo dividiendo la valoración total, de esa competencia, proporcionada por los alumnos de primer semestre (2,547.50 puntos), entre el total de encuestados del primer semestre (33 alumnos). De esta forma: $2,547.50/33 =$

77.1969697%. Se puede ver que el promedio de valoración más alto lo tiene el segundo semestre y pertenece a las competencias interpersonales, con el 85.0 %.

Utilizando la misma tabla dinámica, se presenta en la figura 8, la valoración de los grupos por cada competencia genérica. Aquí visualmente no es tan evidente cuál de las clasificaciones de competencias tiene valoraciones en promedio más bajas o más altas. En este caso al valorar grupo por grupo y competencia por competencia, se puede deducir que la clasificación inicial de las competencias es: más bajas las sistémicas, le siguen las interpersonales y las más altas parecen ser las instrumentales. Por medio de la interactividad, señalando con el cursor, se obtiene que los porcentajes de las competencias sistémicas, para los cuatro grupos, son: $77.63+82.14+83.16+81.89=324.89$; para las competencias interpersonales se tiene: $77.20+85.0+82.92+80.11=325.23$ y para las instrumentales es: $79.09+84+82.33+83.45=328.88$. En promedio: 81.22, 81.31 y 82.22. respectivamente. Esto confirma que la clasificación inicial es correcta y que la diferencia entre las clasificaciones de competencias genéricas es mínima.

Figura 8. Gráfica de barras de los grupos por cada competencia genérica.



Nota. Elaboración propia.

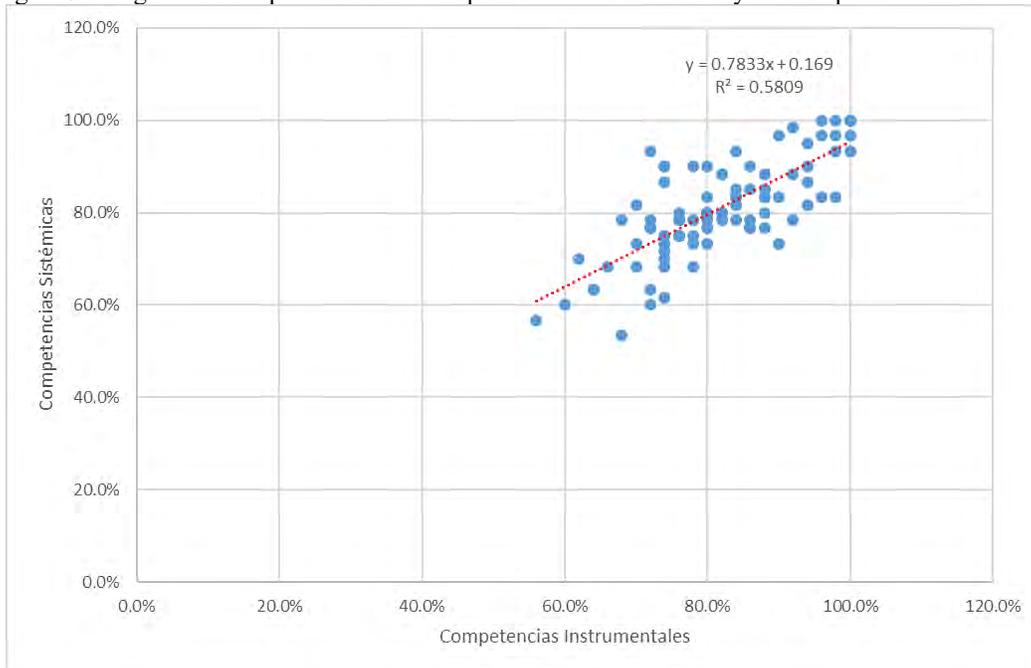
En la figura 9 se visualiza el diagrama de dispersión de las competencias instrumentales y las competencias sistémicas, en donde se definieron como variables independiente y dependiente, respectivamente, debido a que para que el alumno adquiriera las competencias sistémicas se requiere que alcance previamente las competencias instrumentales y las interpersonales. La consideración de que existe cierta relación causal se basa en lo que menciona TecNM (2015): “Las competencias sistémicas o integradoras requieren como base la adquisición previa de competencias instrumentales e interpersonales” (p.80). Esta consideración del presente estudio se debe a que, una vez que el alumno ha desarrollado las competencias instrumentales, puede comenzar a desarrollar competencias más avanzadas como son las competencias sistémicas. Se puede decir que las competencias sistémicas están fuertemente influenciadas por la habilidad de aplicar a nuevas situaciones las competencias instrumentales, las cuales se conceptualizan como conocimientos previos.

Los puntos de color azul representan las valuaciones de cada uno de los 92 alumnos. Se visualiza que hay por lo menos un alumno que valoró el logro de ambas competencias al 100 % y, con el uso de la interactividad, deslizando el cursor por los puntos ubicados más hacia la izquierda y hacia abajo, se puede ver que los dos alumnos que más bajo evaluaron han sido, uno con 56.0% y 56.07% y el otro con 60.0% y 60.0%, las competencias instrumentales y sistémicas, respectivamente. Considerando la valoración de las competencias genéricas como variables, el diagrama de dispersión se emplea para comunicar la relación entre estas variables.

Se puede ver una correlación positiva porque, en la mayor parte de los casos, cuando se elevan los valores de las competencias instrumentales, se elevan los valores de las competencias sistémicas. Para ubicar el nivel de correlación se utilizan funciones de la hoja de cálculo, que realizan cálculos automáticos. Se habilitan las funciones de trazar la línea de tendencia (línea punteada de color rojo), se incluyen las funciones de correlación (ecuación de la recta) y de calcular el valor de R^2 . La pendiente es de 0.7833, lo que representa que cada aumento de una unidad en la valoración de competencias instrumentales aumentará 0.7833 en la valoración de competencias sistémicas. El coeficiente de

determinación da como resultado $R^2 = 0.5809$. Es decir que el modelo de regresión explica un 58.09 % de la variabilidad total de las observaciones. El valor de y es de 0.169, cuando x es igual a cero.

Figura 9. Diagrama de dispersión de las competencias instrumentales y las competencias sistémicas.



Nota. Elaboración propia.

La matriz de correlación, presentada en la figura 10, se obtiene a través de la función de *Excel* que calcula los valores de correlación y se utiliza para complementar el análisis.

Figura 10. Matriz de correlación

	Fecha	Total de Competencias	Semestre	Género	Instrumentales	Interpersonales	Sistémicas
Fecha	1						
Total de Competencias	-0.149267798	1					
Semestre	0.111134427	0.136731288	1				
Género	0.022572711	0.154953409	0.067023248	1			
Instrumentales	-0.110747307	0.945686999	0.145783124	0.131727174	1		
Interpersonales	-0.148492186	0.874624824	0.0673254	0.101097079	0.726905459	1	
Sistémicas	-0.173202255	0.913491021	0.134518557	0.18950362	0.762184229	0.798064776	1

Nota. Elaboración propia.

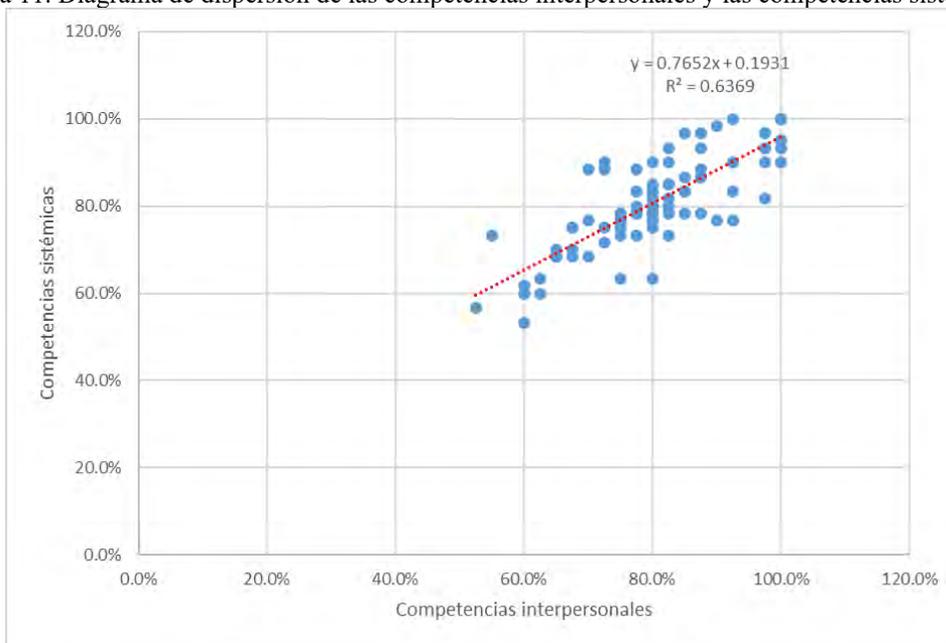
En la matriz de correlación es visible que, cuando coincide el nombre de la columna con el nombre de la fila, la correlación tiene un valor de 1 y la celda es de color verde. Conforme se van reduciendo los niveles de correlación las celdas pasan del color verde más claro, al color amarillo, al color naranja, hasta llegar al color rojo para aquellos valores más pequeños. Esta visualización no se considera solo una tabla debido a que los colores van variando de acuerdo a cómo van disminuyendo los valores. Este efecto se logra con la función de formato condicional de *Excel*.

La correlación entre las percepciones de competencias instrumentales y de competencias sistémicas es de 0.762184229; si elevamos al cuadrado esta cantidad obtenemos el coeficiente de determinación de R^2 : $(0.762184229)^2 = 0.5809$. Mismo valor al que se refiere el diagrama de la figura 9. Esto es porque el coeficiente de correlación se abrevia como R. Este indicador R puede entenderse como coeficiente de determinación. Esta no es una causalidad contundente pero, para efectos del análisis, se definieron variable dependiente e independiente con base a lo que expresa TecNM (2015, p.80) y a los valores de la matriz de correlación que informa acerca del nivel de asociación del comportamiento de estas variables. La correlación de las variables es positiva ya que, en la mayoría de

los casos, cuando aumenta una percepción, aumenta la otra percepción. Por eso, su comportamiento tiene cierta relación.

En la figura 11 se observa el diagrama de dispersión de las percepciones de las competencias interpersonales y las competencias sistémicas, elaborado a partir de una tabla dinámica. Existe también una correlación positiva. Se observa que hay por lo menos un alumno que valoró el logro de ambas competencias al 100 % y deslizando el cursor por los puntos ubicados más hacia la izquierda y hacia abajo, en esta visualización se nota que los dos alumnos que más bajo evaluaron han sido, uno con 52.5% y 56.07% y el otro con 60.0% y 53.3%, las competencias interpersonales y sistémicas, respectivamente. Se habilitan las funciones de trazar la línea de tendencia, de correlación (ecuación de la recta) y de calcular el valor de R^2 . La pendiente es de 0.7652 que implica que cada aumento de una unidad en la percepción de competencias interpersonales aumentará 0.7652 en la percepción de competencias sistémicas.

Figura 11. Diagrama de dispersión de las competencias interpersonales y las competencias sistémicas.



Nota. Elaboración propia.

En esta visualización, el coeficiente de determinación R^2 es de 0.6369, por lo que el modelo de regresión explica el 63.69 % de la variabilidad total de las observaciones. El valor de y es 0.1931 cuando el valor de x es igual a cero. Al observar la matriz de correlación de la figura 10, se tiene que la correlación entre las valoraciones de competencias interpersonales y de competencias sistémicas es de 0.798064776; si elevamos al cuadrado esta cantidad obtenemos el coeficiente de determinación de R^2 : $(0.798064776)^2 = 0.6369$. El presente artículo no profundiza más en las técnicas relacionadas a los modelos de regresión lineal debido a que, dentro de sus principales propósitos, no contempla la realización de análisis de estadística avanzada.

Para informar a otros acerca de los resultados se proyecta realizar una selección cuidadosa, de entre las nuevas tecnologías, que permita mostrar todo el potencial de las herramientas de análisis y visualización utilizadas en esta investigación, a fin de presentar eficazmente los resultados para que sean asequibles y comprensibles a las audiencias académicas y empresariales, en función de la modalidad que se señale para su presentación.

Discusión de resultados

En la construcción de los marcos contextual y teórico del presente trabajo, una buena parte del estudio de gabinete se ha dedicado a revisar documentos y sitios web institucionales para investigar los planes, lineamientos, programas y normas del TecNM y del TESCHA que tratan acerca del rediseño curricular. Aunque en la investigación documental se han encontrado otras listas de competencias genéricas, en las cuales otros autores incluyen alguna otra competencia, más enfocada al avance tecnológico (como el uso de las TIC), o más enfocada a lo que está requiriendo el mercado laboral actual (como la habilidad para trabajar en contextos internacionales), o en favor de causas ambientalistas (como

el compromiso con la preservación del medio ambiente), la lista de 30 competencias genéricas que se eligió fue la que señala el modelo educativo del TecNM, considerando que la investigación se ha desarrollado en el TESCHA.

En la investigación de campo se recibieron las respuestas de los alumnos del 17 al 23 de enero de 2023, concluyendo el semestre respectivo el 31 de enero de ese año. Por lo que los alumnos prácticamente estaban terminando el semestre, lo que pudo significar que sus respuestas ya incluían las percepciones acerca de las competencias adquiridas durante ese semestre que estaban finalizando.

El curso de Guymon (2020), consultado para el cálculo de los resultados, utiliza datos financieros empresariales. En dicho curso, por citar algunos ejemplos, el mapa de árbol y la gráfica de proyección solar se elaboran con base a los datos de un Balance General, algunos diagramas de dispersión se preparan con los precios de apertura y de cierre de acciones bursátiles, ciertas gráficas de barras se basan en el porcentaje de retorno diario promedio para acciones de 11 empresas diferentes y la correlación se mide considerando como variables: las ventas diarias, mensuales y anuales de cierto negocio; en la correlación han usado también variables tales como: datos meteorológicos y días en los que se realiza un determinado evento deportivo.

Una de las principales tareas del presente estudio ha sido adaptar el espléndido contenido del mencionado curso, de análisis y visualización de datos financieros, al análisis y visualización de percepciones de alumnos de informática del TESCHA, con respecto al desarrollo de sus competencias genéricas. Para esta adaptación ha sido necesario realizar algunos ensayos y pruebas hasta obtener el producto apropiado. Se han ajustado y aplicado los procedimientos mostrados en el curso para emplearlos en el presente estudio, buscando las analogías que pueden existir entre la base de datos de las valoraciones de alumnos del TESCHA y las bases de datos financieros.

Dicho curso maneja varias bases de datos, mientras que en el presente estudio solo se ha trabajado con una base de datos, hecho que ha representado ciertas dificultades. Puesto que ha sido necesario producir, de la misma base de datos, algunas versiones para que coincidieran, de cierta manera, con los formatos de: un Balance General, los reportes de precios de acciones bursátiles, el informe de porcentaje de retorno accionario y los reportes de ventas mencionados. Por eso, aunque se contaba ya con el contenido procedimental del curso, ha debido pasar cierto tiempo para poder realizar las adaptaciones y presentar los resultados.

Se habían elaborado dos visualizaciones adicionales: una era una gráfica de barras, parecida a la de la figura 6, con el promedio de cada una de las 30 competencias, presentando la valoración de cada uno de los cuatro grupos de alumnos con colores diferentes. Otra era un diagrama de dispersión que mostraba el promedio de los 92 alumnos, presentado la valoración de cada uno de los cuatro grupos con diversos colores. Sin embargo, se decidió no presentarlas porque, aunque aportaban información, no eran visualmente agradables ya que los datos eran muchos y se encontraban tan juntos que resultaban confusos.

Para que las diferencias en el número de competencias genéricas (10, 8 y 12) y el número de alumnos de los grupos (33, 7, 30 y 22) no afectaran a los resultados, se han diseñado todas las visualizaciones considerando las valoraciones de los alumnos de forma proporcional, las cuales se han expresado en porcentaje.

Conclusiones

Los documentos y los sitios web institucionales del TecNM y del TESCHA revisados no mencionan las palabras diseño curricular o rediseño curricular, sin embargo, a través de sus contenidos, se puede detectar que estos conceptos están implícitos. En dichos contenidos se habla, por ejemplo, de calidad educativa, cobertura y formación integral; también se menciona el objetivo de fortalecer la calidad de la oferta educativa, mejorar la calidad, pertinencia y evaluación de los programas académicos hacia un nivel de competencia internacional y de temas orientados al estudio, análisis, mejora, desarrollo e innovación curricular. Se mencionan los modelos educativos y el currículo y se hace referencia a la investigación educativa enfocada al análisis, la modificación, perfeccionamiento y mejora de los planes de estudio.

El análisis de las respuestas ha dado, a su vez, una respuesta a la pregunta planteada. Se ha podido responder acerca de cuáles son las percepciones que tienen alumnos de Ingeniería Informática del TESCHA en relación al desarrollo de las competencias genéricas que están alcanzando a través del plan curricular. Se ha dado respuesta a través de los análisis y visualizaciones de las contestaciones de los alumnos, quienes han valorado el nivel en el que perciben que se encuentra el logro de sus competencias genéricas. Considerando las visualizaciones y los análisis generados se puede establecer que la percepción de estos alumnos es favorable, ya que la media aritmética del promedio de sus

valoraciones del logro de las 30 competencias es de 80.9%. Las respuestas a las 3 preguntas abiertas finales del cuestionario no fueron revisadas en este trabajo, por lo que se propone incluirlas en un trabajo futuro.

Las competencias que ocupan los primeros lugares, en cuanto a su desarrollo, son: 1º. Análisis y síntesis, 2º. Conocimientos generales básicos y 3º. Manejo de computadora. Las competencias en que se percibe que existe un menor desarrollo son: 28º. Comunicación con profesionales de otras áreas, 29º. Conocimientos de culturas y costumbres de otros países y 30º. Conocimiento de segunda lengua. Esto se podría deber a que el alumno considera: que no tiene oportunidad de retroalimentarse de la experiencia de profesionales de otras carreras, que no existen intercambios culturales con otros países y que del Centro de Lenguas Extranjeras (CELEX) del TESCHA no obtiene los conocimientos suficientes.

El orden de la percepción del mayor desarrollo en el logro de sus competencias genéricas por grupo es: 1º. Segundo semestre, 2º. Tercer semestre, 3º. Séptimo semestre y 4º. Primer semestre. El orden en que los alumnos perciben que están adquiriendo las competencias genéricas es: 1º. Competencias instrumentales, 2º. Competencias interpersonales y 3º. Competencias sistémicas; aunque la diferencia en la valoración de esta clasificación de competencias genéricas no es significativa: apenas 1.0%.

Si bien el presente estudio utilizó una muestra no representativa, una de sus principales aportaciones es que explora lo que piensan los alumnos acerca del nivel de competencias que están adquiriendo a través del modelo educativo y los programas de estudio. En este tema siempre será importante que los alumnos nos comuniquen lo que piensan, ya que nos proporcionan un panorama acerca de los retos de la institución con respecto al rediseño curricular.

No obstante que con un estudio más amplio se podría aumentar la confiabilidad y el alcance de los resultados, con la información obtenida en la presente investigación, se proponen las siguientes estrategias para mejorar la mencionada percepción de los alumnos:

1. Capacitar a los docentes para que estén convencidos de la importancia de que informen, de manera puntual y de continuo a sus alumnos, acerca de las competencias (profesionales en general y genéricas en particular) que los estudiantes deberán alcanzar y sobre las que deberán de estar trabajando durante el semestre.
2. Motivar a los docentes tutores para que, en las actividades a desarrollar en el Plan de Acción Tutorial (PAT), informen sistemáticamente a sus alumnos acerca de las competencias profesionales que deberán estar desarrollando.
3. Generar una campaña institucional que se centre (a través de pláticas, talleres, conferencias y otros), en el conocimiento y desarrollo de las competencias profesionales.
4. Atender a los alumnos para que desarrollen aquellas competencias en las que, de acuerdo con las investigaciones correspondientes, se encuentren más rezagados; considerando la atención a través de los cursos propedéuticos que, al inicio de cada semestre, se imparten a los alumnos de primer semestre.

Esta atención implica también impulsar más el desarrollo del CELEX de la institución, implementar programas de intercambios culturales con instituciones académicas de otros países y fortalecer el programa de educación dual, lo cual facilitará al alumno contactar con el mundo laboral, siendo aún estudiante.

Se propone avanzar en el estudio de los modelos de correlación que permitan elegir estrategias, considerando la construcción de modelos predictivos y modelos prescriptivos. Esto es, que los análisis de correlación no solo permitan describir y hacer pronósticos respecto a la percepción de los alumnos, en relación al desarrollo de las competencias genéricas, sino que también se utilicen para recomendar e impulsar aquellas acciones en las que se están obteniendo mejores resultados.

El rediseño curricular es un proceso complejo, en el que se deben involucrar todos los actores educativos y que requiere de tiempo y otros recursos. Investigaciones como esta pueden ser un antecedente para que se inicien los estudios necesarios a fin de generar la gestión de un proceso de rediseño curricular en la institución. Para futuros estudios relativos al diseño curricular, se propone que participe toda la comunidad del TESCHA a fin de que se determinen, de forma más integral, las percepciones sobre las competencias genéricas de los alumnos de la institución.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México, a través del Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco, y al Instituto Politécnico Nacional, a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado, por el apoyo económico para la realización y divulgación del presente trabajo de investigación.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, R. y Bravo, (Dir.) (2021). *Sistema analítico basado en un modelo predictivo de procesamiento de datos en la Big Data en la Educación Superior*: (ed.). D - Universidad Señor de Sipán. <https://elibro.net/es/lc/tescha/titulos/228973>
- Aguayo, V. y Cortés G. (2018). *Manual de Rediseño Curricular*. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile). <https://sitios.ucsc.cl/docencia/wp-content/uploads/sites/30/2018/08/Manual-de-redise%C3%B1o-curricular-pdf-primera-edici%C3%B3n.pdf>
- Ball, R. y Brown, P. (1968). An Empirical Evaluation of Accounting Income Numbers. *Journal of Accounting Research*, 6(2), 159-178. <https://doi.org/10.2307/2490232>
- Ballvé, A. (2023). *El tablero de control: la revolución de la información directiva en el siglo XXI*: (1 ed.). Ediciones Granica. <https://elibro.net/es/ereader/tescha/230419?page=1>
- Castro, C. (Coord.), Barredo, D. (Coord.) y Arcila, C. (2017). *Analítica y visualización de datos en Twitter*: (ed.). Editorial UOC. <https://elibro.net/es/ereader/tescha/58659?page=1>
- Castro, M. (2019). *Bioestadística aplicada en investigación clínica: conceptos básicos*. Revista Médica Clínica Los Condes. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864019300045#bib0040>
- Contreras, Juárez y Ramírez (2018). Evaluación de las competencias en el plan de estudios de tres licenciaturas en turismo en Puebla, México: Percepciones de los estudiantes. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 9(17), 665 - 687. <https://doi.org/10.23913/ride.v9i17.400>
- Corona, J. (2014). Programas educativos de buena calidad. Valoración de estudiantes vs. Expectativa de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en México. *Actualidades Investigativas en Educación*, 14(3), 251-271. Retrieved August 14, 2024, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-47032014000300011&lng=en&tlng=es.
- Correlation and Regression. (s.f.) In *Introductory statistics*. Saylor Academy. https://saylordotorg.github.io/text_introductory-statistics/s14-correlation-and-regression.html
- Curto, J. (2016). *Organizaciones orientadas al dato: transformando las organizaciones hacia una cultura analítica*: (ed.). Editorial UOC. <https://elibro.net/es/lc/tescha/titulos/58609>
- Dasu, T. y Johnson, T. (2003). *Exploratory Data Mining and Data Cleaning*. Wiley-IEEE.
- Few, S. (2009). *Now you see it: Simple visualization techniques for quantitative analysis*. Analytics Press.
- Gamino, A. y Acosta, M. (2016). Modelo curricular del Tecnológico Nacional de México. *Revista Electrónica Educare*, 20(1), 212-236. <https://dx.doi.org/10.15359/ree.20-1.10>
- González, V. y González, R. (2008). Competencias genéricas y formación profesional: un análisis desde la docencia universitaria. *Revista Iberoamericana De Educación*, 47, 185-209. <https://doi.org/10.35362/rie470710>
- Guymon, R. (2020). *Introduction to Accounting Data Analytics and Visualization* [MOOC]. Coursera. <https://www.coursera.org/learn/intro-accounting-data-analytics-visual>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. 5a. Edición. Cd. de México. Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Laguna, C. (s.f.). *Correlación y regresión lineal*. *Diplomado en Salud Pública*. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r132139.PDF>
- Laney, D. (2017). *Infonomics: How to monetize, manage, and measure information as an asset for competitive advantage*. Editor: Routledge. https://books.google.com.mx/books/about/Infonomics.html?id=CB00DwAAQBAJ&source=kp_book_descriptio n&redir_esc=y
- Lebrón, C. (2011). *Analítica web con Google Analytics*: (ed.). Bubok Publishing S.L. <https://elibro.net/es/ereader/tescha/55606?page=1>
- Microsoft (2024). *Excel help & learning*. <https://support.microsoft.com/en-us/excel>
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa-Guía didáctica*. Universidad Surcolombiana, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Monroy, M. y Nava, N. (2018). *Metodología de la investigación*: (ed.). Grupo Editorial Éxodo. <https://elibro.net/es/ereader/tescha/172512?page=1>
- Rovira, P. y Pascual, V. (2021). *Analítica Visual. Como explorar, analizar y comunicar datos*: (1 ed.). Difusora Larousse - Anaya Multimedia. <https://elibro.net/es/lc/tescha/titulos/217097>
- Solanes, Núñez y Rodríguez (2008). Elaboración de un cuestionario para la evaluación de competencias genéricas en estudiantes universitarios. *Apuntes De Psicología*, 26(1), 35-49. <https://www.apuntesdepsicologia.es/index.php/revista/article/view/250>

- Soto, A., Suárez, L. y Huerta, M. (2019). Relaciones entre innovación educativa e investigación educativa en el I.P.N. *Docencia Politécnica*, 1(1), -58. <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/docencia-politecnica/docencia-politecnica-1/Docencia-Politecnica-No-1.pdf>
- Suárez, L., Ramírez, M., González, G. y Luna, V. (2019a). *Diseño curricular en matemáticas y la formación docente*. El pensamiento del profesor, sus práctica y elementos para su formación profesional. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 32(2), 616-622. https://www.researchgate.net/publication/343639375_Disenio_curricular_en_Matematicas_y_la_formacion_docente
- Suárez, L., Soto, A., Méndez, M., Zavala, M. y González, A. (2019b). *Avances en el Estudio de la gestión del rediseño curricular en el nivel superior del Instituto Politécnico Nacional*. Debates en Evaluación y Currículum/Congreso Internacional de Educación: Currículum 2019/Año 5, No. 5/ Septiembre de 2019 a Agosto de 2020.
- Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco (2022a). *Plan de estudios, Ingeniería Informática con especialidad en Gestión Informática para negocios*. <https://tescha.edomex.gob.mx/plan-estudio-ing-informatica>
- Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco (2022b). *Perfil de ingreso*. <https://tescha.edomex.gob.mx/plan-estudio-ing-informatica>
- Tecnológico Nacional de México (2015). *Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México*. Dirección General del Tecnológico Nacional de México.
- Tecnológico Nacional de México (2019). *Programa de Desarrollo Institucional 2019-2024 del TecNM*. Dirección General del Tecnológico Nacional de México.
- Tecnológico Nacional de México (2022a). *Breve historia de los institutos tecnológicos*. <https://www.tecnm.mx/?vista=Historia>
- Tecnológico Nacional de México (2022b). *Normateca del TecNM*. <https://www.tecnm.mx/?vista=Normateca>
- Wickham, H. (2014). Tidy data. *Journal of Statistical Software*, 59 (10), 1–23. <https://doi.org/10.18637/jss.v059.i10>
- Zabalza, M. (2012). Articulación y rediseño curricular: el eterno desafío institucional. *Revista de Docencia Universitaria. REDU*, 10(3),17-48. <https://doi.org/10.4995/redu.2012.6013>



<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a6>

<https://www.facebook.com/avacient>

Guía para autores

AvaCient

Revista

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

Periodicidad de publicación **Semestral**, Ene-Jun (1) y Jul-Dic (2).

El contenido deberá ser estrictamente original e inédito.

Todos los artículos se reciben con un reporte de similitud realizado por autor (coautores); el no contar con ello, queda bajo estricta responsabilidad de estos vigilar y monitor el plagio, liberando de toda controversia, acción a la Revista AvaCient, máximo **20 %** de similitud.

El proceso de evaluación en su primera etapa lo realiza el Consejo Editorial (CE) quien seleccionará los manuscritos que cumplan con los criterios metodológicos y de contenido temático de la revista, si el material recibido cumple con la guía, será sometido al arbitraje por parte de dos pares lectores concedores en el área temática respectiva. El CE enviará el dictamen a través del correo electrónico. Podrá tener tres probables resultados: 1)Aceptado, 2)Condicionado con adecuaciones, y 3)Rechazado; cuando este se conceptúa como Condicionado con adecuaciones, se le informa al autor(es), quien(es) decide(n) si se compromete hacer los cambios dentro de los cinco días posteriores a su recepción y enviarlo nuevamente al CE.

El proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego. Los autores de los manuscritos aceptados se comprometen a ceder sus derechos al Tecnológico Nacional de México / I.T. de Chetumal.

Se aceptan autorías múltiples, las cuales deben ser indicadas como máximo cinco coautores.

Temática:

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

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

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

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

Artículo de divulgación. El objetivo primordial de este tipo de documento es hacer llegar información fidedigna sobre cualquier tema en general para el público en general. Esta temática deberá dirigir sus esfuerzos en adaptar el lenguaje especializado a la comunicación coloquial, máximo 10 cuartillas, máximo 3 coautores.

Elementos de identificación del manuscrito:

Todas las publicaciones deberán contener los siguientes elementos de identificación:

Título del artículo en idioma español e inglés.
 Insertar nota al pie

Nombre completo del(los) autor(es), con número *Orcid* , número CVU Conahcyt o CVU TecNM o ID personal.
 Filiación del(los) autor(es).

Dirección electrónica del(los) autor(es) institucional y personal.
 Colocados al pie de página de la primera cuartilla de su publicación.

Elementos del manuscrito	Artículo de investigación científica y/o tecnológica	Artículo de investigación documental	Artículo de divulgación
Autores	5 máximo	5 máximo	3 máximo
Resumen	✓	✓	✓
Palabras claves (no frases)	✓	✓	✓
Abstract	✓	✓	✓
Keywords	✓	✓	✓
Introducción	✓	✓	✓
Material y métodos	✓	✓	No aplica
Resultados y discusión	✓	✓	No aplica
Conclusiones	✓	✓	✓
Referencias bibliográficas	35 mínimo	35 mínimo	15 mínimo
Cuartillas Mínimas / Máximas	10-20	10-20	6-10

Los artículos se publican en idioma español o en inglés, todos los manuscritos propuestos deberán estar escritos a espacio sencillo, utilizando la tipografía *Times New Roman*, tamaño de letra 10 en todo el cuerpo y el título a 12, en formato Microsoft Word.

Los márgenes en los cuatro costados serán de 2.5 cm. Cada párrafo deberá estar justificado, no utilizar sangría al inicio del párrafo y colocar una interlínea después de cada párrafo.

Las imágenes, ilustraciones, fotos, tablas, etc., deben de estar por separado, no incorporadas dentro de los párrafos, así mismo acompañadas de un encabezado y pie de nota.

Título, la longitud podrá incorporar hasta 16 palabras. Deberá escribirse en idioma español e inglés, a tamaño 12.

Resumen, ser un solo párrafo que no exceda de 200 palabras. Debe describir los aspectos más importantes de la investigación y las conclusiones más relevantes. El artículo en idioma inglés, es necesario hacer resumen en español.

Hasta cinco palabras clave (**no frases, no ideas**), debajo del resumen, emplear:
<https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>

Abstract, es el resumen traducido al idioma inglés. Las palabras clave deberán ser traducidas y colocar una sección denominada *Keywords*.

Introducción, debe ser breve y sin subtítulos, debe indicarse claramente la importancia del tema, la justificación de la investigación, la hipótesis y los objetivos planteados.

Materiales y métodos, fundamentar los elementos probatorios con literatura reciente y suficiente; proporcionar detalles adecuados para que el trabajo se pueda repetir. Necesario aportar la información conveniente de cada variable, proporcionar el análisis estadístico en su caso.

Resultados, describe la solución a la problemática planteada. Utilizar figuras y tablas como complemento.

Discusión, el propósito es relacionar sus hallazgos con los resultados anteriores, identificando cómo y por qué hay diferencias y donde no hay acuerdo. Las controversias también deberían presentarse de forma clara y justa.

Conclusiones, indicar de forma categórica, breve y precisa las aportaciones concretas al conocimiento, apoyadas por los resultados demostrables y comprobables de la propia investigación. Ninguna conclusión debe argumentarse ni basarse en suposiciones. No numerar las conclusiones ni emplear abreviaturas sino términos completos, de manera que el lector no tenga que recurrir a otras partes del texto para entenderlas.

Agradecimientos (opcional), se incluirán cuando se desee reconocer a instituciones o personas, que financiaron, asesoraron o auxiliaron la investigación.

Referencias citadas, debido a que AvaCient es una revista multidisciplinaria, las citas y referencias bibliográficas podrá aplicar diferentes estilos de redacción científica como: APA 7, IEEE, Harvard, Chicago, ISO, MLA, Vancouver, entre otras.

La lista de referencias debe agregar la información completa sobre la fuente respectiva, incluyendo el DOI (Digital Object Identifier) insertar al final del artículo, antes de cualquier apéndice. Algunas referencias tienen DOI, otras no y otras un enlace web (*Links*).

Los autores deben asegurarse que exista una correspondencia estricta entre los nombres y años reconocidos en el texto y aquellos listados en la bibliografía. Las referencias deben incluirse en orden alfabético de acuerdo con el apellido del autor (o el nombre de cualquier organización si se trata de alguna fuente que no identifica a algún autor).

Forma de envío:

Nombre del archivo: en mayúsculas, apellido del primer autor – palabra clave.

Ejemplo: PEREZ-INVESTIGACIÓN2024

También con un archivo independiente se anexa con su firma la carta de ÉTICA DE PUBLICACIÓN Y BUENAS PRÁCTICAS (se les proporciona).

Enviar al email:

avacient@itchetumal.edu.mx

avacient@chetumal.tecnm.mx

Es importante señalar, como postula su manuscrito:

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA/TECNOLÓGICA,

o

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
DOCUMENTAL,

o

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN,

Seguimos en:

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

<https://www.facebook.com/avacient>



AvaCient

Se terminó el 14 de octubre de 2024,
por el Departamento de Comunicación y Difusión
del Instituto Tecnológico de Chetumal,
Tecnológico Nacional de México.

Disponible en Internet:

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

Ciudad Chetumal, Quintana Roo, México, 2024.

II CONGRESO 2024
INTERDISCIPLINARIO



email: avacient@itchetumal.edu.mx
avacient@chetumal.tecnm.mx

Disponible en:

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

Av. Insurgentes No. 330 esquina Andrés Quintana Roo, Col. David Gustavo Gutiérrez Ruiz,
Apdo. postal 267 C.P. 7013, Chetumal Quintana Roo. Tel. (01-983) 2-23-30 y 2-10-19

www.itchetumal.edu.mx

#OrgulloTecNM