



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Ava Cient

ISSN: EN TRÁMITE

Instituto Tecnológico de Chetumal

Formación Integral, Científica, Tecnológica y Humanista

2023

Año 1

Vol. I

Núm. 1

ENERO - JUNIO

Órgano Informativo de Difusión Científica, Tecnológica, Académica e Innovación



Enfoque y alcance:

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

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

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

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

Políticas de selección:

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

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

Artículo de investigación documental. La investigación documental es un proceso científico, sistemático y de búsqueda, recopilación, organización, análisis y 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 2023**.

Proceso de revisión:

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

Tiempo estimado para la evaluación:

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

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

Código de ética:

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

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

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

Política de acceso abierto:

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

Contacto:

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

Disponible en Internet:

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



Directorio

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

Consejo Editorial

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

AVACIENT, Año 1, Vol. I, Núm. 1, enero - junio 2023, es una publicación semestral, editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Chetumal, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Contacto: 9838322330, avacient@chetumal.tecnm.mx, www.itchetumal.edu.mx. Editor Responsable: Robert Beltrán López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-052309402000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Comunicación y Difusión, José Luis Moctezuma Tejeda, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Fecha de última modificación 30 de junio de 2023.

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

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

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

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

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

AvaCient es una revista científica arbitrada, multidisciplinaria.

Soporte técnico OJS: Mtro. José Luis Moctezuma Tejeda. Cel. 2291521713. jmoctezuma@itchetumal.edu.mx
Corrección y Estilo: C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver.
Créditos de la foto de portada y contraportada:
C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas

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

Responsabilidades del Comité Editorial

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

Responsabilidades del Editor

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

Responsabilidades de los autores

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

Responsabilidades de los revisores

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

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

Tabla de contenido

Presentación de la revista.

Directorio y cintillo.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas.

Comité editorial científico.

- 1.- Pasado y presente del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.** **1**
Carmen Amelia Villegas Sánchez.
Oscar de Jesús Rosado Nic.
Miguel Mateo Sabido Itzá.
Rigoberto Rosas Luis.
- 2.- Algoritmo predictor-corrector para la estimación de parámetros en ecuaciones diferenciales parciales.** **12**
María de la Luz López-González.
Norma Leticia Flores-Martínez.
Hugo Jiménez Islas.
- 3.- Relación con el ambiente improvisado por teletrabajo y la lumbalgia mecánico postural en docentes universitarios.** **22**
Karla Margarita Castilla Acosta.
Lizbeth Castilla Acosta.
Omar Eduardo Betanzos Martínez.
- 4.- Estrategias para la subsistencia de las Mipymes de Othón P. Blanco durante la contingencia por COVID-19.** **31**
Claudia Hernández Campos.
Mario Arturo Selem Salinas.
Eustacio Díaz Rodríguez.
Corina Santana Duarte.
- 5.- La gestión de las emociones en el emprendimiento.** **39**
Edgar Alfonso Sansores Guerrero.
Juana Edith Navarrete Marneou.
Robert Beltrán López.



Instituto Tecnológico de Chetumal (México)

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

Universidad de Quintana Roo (México)

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

Universidad Politécnica de Bacalar (México)

Mtra. María Antonia de los Ángeles Díaz Martín

Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

Dra. Ana María López Carmona

Universidad Autónoma de Aguascalientes (México)

Dr. Miguel Ángel Oropeza Tagle (SNI)

**Universidad Intercultural Maya
de Quintana Roo (México)**

Dra. Valeria Betzabé Cuevas Albarrán (SNI)

**Instituto Tecnológico Superior de
San Martín Texmelucan (México)**

Dra. Esmeralda Aguilar Pérez (SNI)

Universidad de Piura (Perú)

Dr. Luis Gerardo Gómez Jacinto

Instituto Tecnológico de Comitán (México)

Dr. Francisco Gabriel Yáñez Domínguez

Universidad Autónoma de Yucatán (México)

Dra. Elizabeth del Rosario Vázquez Borges

Universidad Tecnológica de Chetumal (México)

Dr. Martín Antonio Santos Romero

Universidad Veracruzana (México)

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

Universidad de Oriente campus Puebla (México)

Dr. Carlos Alberto Lobato Tapia

Instituto Tecnológico de Celaya (México)

Dr. J. Jesús Villegas Saucillo

**Red de Investigadores de la
Transcomplejidad (Venezuela)**

Dra. Crisálida Villegas González

Instituto Tecnológico de Iguala (México)

Mtro. Sergio Ricardo Zagal Barrera
Mtro. Jorge Eduardo Ortega López

Instituto Tecnológico de Sonora (México)

Mtro. Ciriaco Jesús Manuel Valenzuela Romero

Universidad Autónoma de Tlaxcala (México)

Dra. María Mercedes Rodríguez Palma

Universidad del Mar (México)

Dr. Eduardo Jiménez Hidalgo (SNI)

Instituto Tecnológico de la Zona Maya (México)

Dr. Fernando Casanova Lugo (SNI)

Universidad de Guadalajara (México)

Dr. Rogelio Rivera Fernández (SNI)
Dr. Francisco Javier Moscoso Sánchez (SNI)
Dra. Adriana Hernández García (SNI)

Universidad del Valle de Atemajac (México)

Dr. Evelio Gerónimo Bautista (SNI)

Ecosur (México)

Dra. Carla Beatriz Zamora Lomelí (SNI)

Universidad de Sonora (México)

Dr. José Christian Arias-Herrera

**Instituto Tecnológico Superior de
Coatzacoalcos (México)**

Mtra. Karla Margarita Castilla Acosta

**Instituto Tecnológico Superior de
Ciudad Hidalgo (México)**

Mtra. Susana Reyes Vázquez

Universidad ESAN (Perú)

Dr. Edmundo R. Lizarzaburu Bolaños

Universidad del Caribe (México)

Dr. Miguel Ángel Olivares Urbina (SNI)

SFAI México (México)

Mtro. Miguel Chamlaty Toledo

Instituto Tecnológico de Morelia (México)

Mtra. Melina Velasco Plascencia
Dr. Mario Misael Machado López (SNI)

Universidad de las Américas (Venezuela)

Dra. Franyelit María Suárez Carreño

Universidad Nacional de Huancavelica (Perú)

Dr. Edwin Julio Córdor Salvatierra

Universidad de Ciego de Ávila (Cuba)

Mtro. Esteban Rodríguez Torres

Árbitros participando en este ejemplar.

Provenientes de diferentes Universidades e Instituciones de Educación Superior de México, Cuba, Perú, Venezuela.

PASADO Y PRESENTE DEL PARQUE NACIONAL ARRECIFES DE XCALAK

Carmen Amelia Villegas Sánchez¹, Oscar de Jesús Rosado Nic²,
Miguel Mateo Sabido Itzá³, Rigoberto Rosas Luis⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 07/03/2023 Aceptado: 20/06/2023 Publicado: 30/06/2023

Resumen.- El Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) fue decretado como área natural protegida con la categoría de Parque Nacional el 6 de octubre del año 2000. El polígono del parque tiene una superficie 17,949 ha que se encuentra dividido en ocho zonas con diversos ecosistemas y actividades permitidas. Dentro de las acciones encaminadas al manejo, desarrollo, conservación y restauración de los ecosistemas del PNAX se encuentran la protección, el monitoreo, la investigación científica, la pesquería y el turismo, así como la educación ambiental y la difusión. Esta área natural protegida ha sido descrita como parte de un corredor biológico que podría estar conectando las comunidades arrecifales de Belice con las del estado de Quintana Roo. En el PNAX se encuentra un complejo de tres lagunas que se conectan de manera transversal con los ecosistemas marinos, intercambiando sedimentos, materia orgánica y nutrientes. Se ha reportado que en el área habitan especies catalogadas en peligro de extinción, como el mono araña, el saraguato, el jaguar y el ocelote. En el PNAX también existen especies de importancia comercial como la langosta espinosa y el caracol rosado, por lo que contar con información resumida y actualizada del estado del parque es de gran relevancia.

Palabras Clave: protección, sureste, conservación, manejo, decreto.

PAST AND PRESENT OF THE XCALAK REEFS NATIONAL PARK

Abstract.- The Xcalak Reefs National Park (Spanish acronym: PNAX) was decreed as a protected natural area with the category of National Park on October 6th, 2000. The polygon of the park has an area of 17,949 ha, which is divided into eight zones with a diversity of ecosystems, each one with different activities allowed. Among the actions aimed at the management, development, conservation and restoration of the PNAX ecosystems are: protection, monitoring, scientific research, fishing and tourism, as well as environmental education and dissemination. This protected natural area has been described as part of a biological corridor that could be connecting the reef communities of Belize with those of the state of Quintana Roo. In the land portion of the PNAX there is a complex of three lagoons that are connected transversally with the marine ecosystems, providing sediments, organic matter and nutrients. It has been reported that this complex is inhabited by species classified as endangered, such as the spider monkey, the saraguato, the jaguar and the ocelot. Inside the PNAX there are also species of commercial importance such as the spiny lobster and the queen conch, so having summarized and updated information on the state of the park is of great importance.

Keywords: protection, southeast, conservation, management, decree.

Introducción

En el estado de Quintana Roo se encuentran un total de 27 Áreas Naturales Protegidas (ANPs): 17 de índole federal y 10 estatales. La primer ANP del estado fue el Parque Nacional Tulum decretado en 1981; a partir de ese año y hasta el 2000 se decretaron 17 ANPs más (CONANP, 2018), entre ellas el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX), el cual se encuentra localizado al sur del estado de Quintana Roo, en el Municipio de Othón P. Blanco.

Parte de la historia para la creación del PNAX incluye la creación en 1959 de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Andrés Quintana Roo, conformada principalmente por habitantes de la comunidad de Xcalak. Esta cooperativa en los primeros años estaba conformada por más de 120 pescadores, siendo sus principales capturas la

¹ Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chetumal. carmen.vs@chetumal.tercnm.mx
Orcid ID: 0000-0002-4176-7393 (**Autor corresponsal**).

² Maestro en Manejo de Zona Costera. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chetumal. oscarrosado16@gmail.com.
Orcid ID: 0000-0003-4802-3060

³ Supervisor en el Instituto de Biodiversidad y Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo. mateosabido@gmail.com.
Orcid ID: 0000-0002-2633-5146

⁴ Investigador por México, CONAHCYT y profesor de tiempo completo, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chetumal.
rigoberto.rl@chetumal.tecnm.mx. Orcid ID: 0000-0002-7785-7120

langosta espinosa (*Panulirus argus*), el caracol rosado (*Lobatus gigas*), y en menor escala las especies de escama (López Santos et al., 1997).

En la década de los 90's los pescadores de Xcalak observaron una disminución en la captura de la langosta espinosa y el caracol rosado, atribuible al incremento en el número de pescadores libres, pesca no autorizada, uso de métodos de captura inadecuados (trampas no selectivas y uso de compresores) y captura de organismos en zonas no permitidas; aunado a lo anterior, el gobierno de Quintana Roo planteó que la zona sur del estado se convirtiera en un importante desarrollo turístico denominado Corredor Turístico Costa Maya, noticia que causó inquietud en la comunidad de Xcalak porque no contaba con la infraestructura ni la preparación para obtener los beneficios económicos que podría generar el proyecto turístico (López Santos et al., 1997). Considerando tanto la degradación de los recursos pesqueros como el posible desarrollo turístico de Xcalak, los pobladores, por medio de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Andrés Quintana Roo, y la delegación de Xcalak, manifestaron mediante dos oficios sus preocupaciones; en el primero, entregado al gobierno del estado, se solicitaba apoyo para la conservación de los recursos naturales y el desarrollo turístico sustentable, en tanto que el segundo documento, el cual manifestaba la necesidad de un ANP, se entregó al Instituto Nacional de Ecología, el cual dio una respuesta favorable. Con base en lo anterior, la comunidad de Xcalak inició los diagnósticos ambientales en colaboración con la organización Amigos de Sian Ka'an A.C. y la Universidad de Rhode Island, para posteriormente en 1996, conformar un Comité Comunitario para la Protección y Manejo de los Recursos Costeros de Xcalak, con el objetivo de coordinar actividades, así como diseñar metodologías y acciones para el manejo de los recursos naturales, sin descuidar el desarrollo de la propia comunidad (Hadad y Fraga, 2014; López Santos et al., 1997).

El proceso para la creación del PNAX tuvo una duración de cuatro años (1996 a 2000) debido a que el gobierno del estado veía como un obstáculo la iniciativa de la comunidad de Xcalak de establecer un ANP, ya que consideraban que, de establecerse, la regulación ambiental sería más estricta e interferiría con los planes de desarrollo turístico, sin embargo, la comunidad de Xcalak defendió su postura (Hadad y Fraga, 2014; López, 2003). Después de varias negociaciones el gobierno accedió a la creación del PNAX con tres condiciones: 1) no limitar la densidad hotelera, 2) el decreto se publicaría primero en el diario oficial estatal y 3) un comité especializado revisaría y supervisaría la elaboración del plan de manejo (Hadad y Fraga, 2014). Finalmente, el 6 de octubre del 2000 se publicó el decreto para la creación del PNAX en el Periódico Estatal; posteriormente, el 27 de noviembre del mismo año se publicó en el Diario Oficial de la Federación (Hadad y Fraga, 2014; CONANP, 2018). El PNAX por cuestiones presupuestarias quedó bajo la dirección de la Reserva de la Biósfera de Banco Chinchorro (Buitrago Tello et al., 2012).

Esta investigación tiene como objetivo resumir información relevante sobre aspectos pasados y presentes que han influido en el PNAX, así como documentar aspectos importantes sobre su manejo y aprovechamiento.

Materiales y métodos

En la presente investigación se realizó un análisis documental, el cual consiste en presentar información secundaria de forma sintetizada y organizada para su fácil acceso y difusión (Dulzaidas Iglesias y Molina Gómez, 2004; Hernández y Vizcarra, 2015). La información aquí expuesta se derivó de búsquedas realizadas en diversas fuentes como: libros, artículos científicos y de divulgación, planes de manejo, folletos informativos, «report cards», entre otros. El principal motor de búsqueda empleado fue Google Académico, en el cual se incluyeron temáticas relacionadas con la creación, el manejo, la zonificación y las características de la región en la cual se ubica el PNAX. Con el objetivo de contar con toda la información relacionada con el PNAX se consideraron todos los manuscritos relacionados con el tema sin importar el año de publicación; la información recolectada fue sintetizada considerando diversos puntos relevantes y que podrían ser de utilidad para los interesados en el tema. También se creó un mapa que resume información sobre la zonificación del PNAX y las actividades permitidas en cada una de ellas usando el programa QGis V.3.22.2-1 (QGis, 2021).

Resultados y discusión

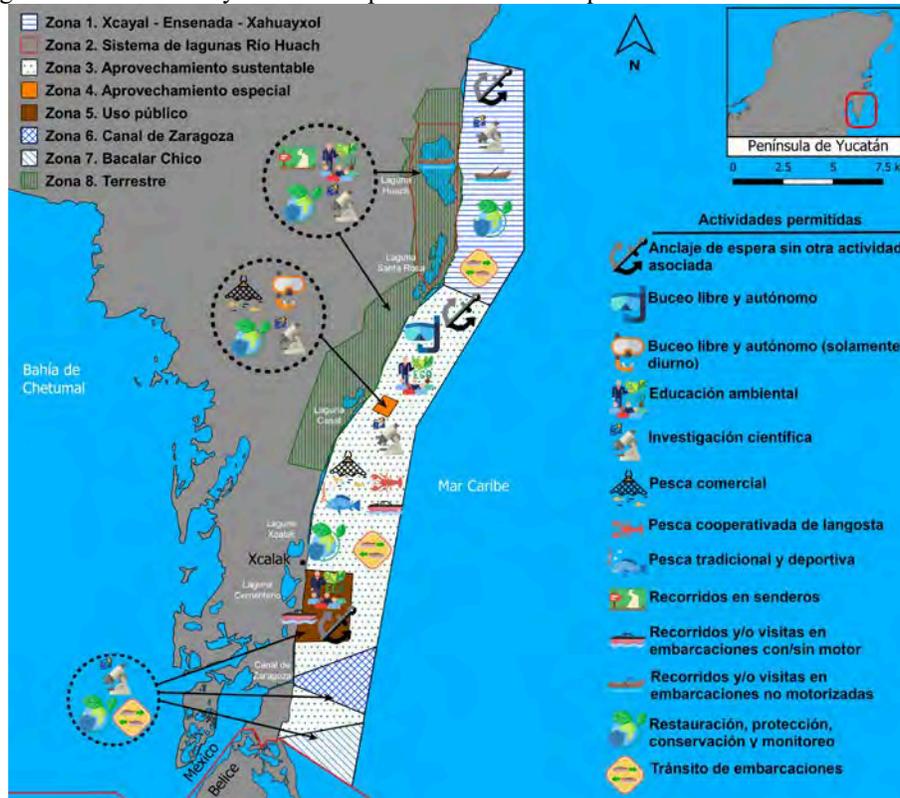
Extensión y programa de manejo

El polígono del PNAX limita al sur con la frontera de Belice, al este con el Mar Caribe y al oeste con la Bahía de Chetumal. El PNAX cubre una superficie de 17,949 ha, de las cuales 13,427.61 corresponden a ecosistemas marinos y 4,521.84 a humedales; en el polígono se encuentran diversos ecosistemas como arrecifes de coral, humedales, lagunas costeras, playas, selva perennifolia, selva subcaducifolia, vegetación hidrófila y manglar (CONANP, 2004, 2018).

El PNAX en general es una región plana, con aproximadamente 22 km de longitud, un ancho mínimo de 2 km y máximo de 6 km, con temperatura y precipitación media anual de 28 °C y 1200 mm, respectivamente; presenta vientos dominantes del sureste durante los meses de febrero a mayo y del este en los meses de junio a octubre (CONANP, 2004; CONANP, 2018). La plataforma continental en la zona tiene un ancho de entre 0.54 y 1.75 km, con una laguna arrecifal que presenta una profundidad media de 2 m (Hernández Arana, 2010).

En la actualidad aún sigue vigente el primer programa de manejo que fue elaborado por la SEMARNAT, con el apoyo de varias instituciones y organizaciones civiles, y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre del 2004. El polígono del PNAX es administrado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y se encuentra dividido en ocho zonas que se describen a continuación (Fig 1; CONANP, 2004):

Figura 1. Zonificación y actividades permitidas en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.



Nota. Elaboración propia con base en el plan de manejo del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX).

Zona 1. Punta Xcayal a Ensenada-Xahuayxol: se encuentra en la porción marina del norte del polígono con una superficie de 3,829.22 ha. Esta zona tiene una variedad de ecosistemas y presenta la mayor diversidad de corales escleractíneos, gorgonáceos y peces de toda el ANP, además de tener la menor diversidad de algas, por lo que es considerada la zona núcleo de parque. En esta zona se admiten actividades como recorridos con embarcaciones no motorizadas, anclaje temporal de embarcaciones, videograbación, fotografía y sonograbación comercial, además de investigación científica, educación ambiental, restauración, monitoreo y protección ambiental.

Zona 2. Sistema de lagunas Río Huach: ubicada al norte del parque, tiene una superficie de 1,637.22 ha. Es un sistema estuarino dominado por manglar, el cual alberga una gran cantidad de especies sobre todo en etapas juveniles, por lo que es considerado como zona de crianza. En esta zona se permiten actividades como recorridos en embarcaciones no motorizadas, recorridos en senderos, videograbación, fotografía y sonograbación comercial, investigación científica, educación ambiental, restauración, monitoreo y protección ambiental.

Zona 3. Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales: comprende casi la totalidad del polígono marino del parque con una superficie de 7,157.8 ha y está enfocada al aprovechamiento sustentable. Presenta la menor diversidad de corales escleractíneos, gorgonáceos, peces y la mayor diversidad de algas. Paralelo a este polígono en la línea de

costa se encuentra el poblado de Xcalak. Se permite una gran diversidad de actividades como buceo libre y autónomo tanto diurno como nocturno, recorridos en embarcaciones con o sin motor fuera de borda, tránsito de embarcaciones, anclaje temporal de embarcaciones, videograbación, fotografía y sonograbación comercial, pesca tradicional con línea de mano, comercial y deportiva, investigación científica, educación ambiental, restauración, protección, conservación y monitoreo ecológico.

Zona 4. Aprovechamiento especial, agregación y reproducción del mero (*Ephinephelus striatus*): se encuentra en el centro de la parte marina del parque y está rodeada de la zona de aprovechamiento sustentable; tiene una superficie de 82.47 ha. Es una zona de agregación de mero, por lo tanto, está sujeta a restricciones en cuanto a las actividades que se pueden desarrollar. El plan de manejo solo marca como actividades permitidas la pesca comercial, buceo libre y autónomo diurno y actividades de investigación, restauración, protección, conservación y monitoreo ecológico.

Zona 5. Uso público: se localiza en la porción sur del parque, con una superficie de 907.85 ha. Es utilizada por la comunidad de Xcalak y por los visitantes para realizar actividades turísticas y recreativas, pero con un enfoque sustentable, además se puede realizar la pesca.

Zona 6. Canal de Zaragoza: ubicada en la parte sur del parque, cuenta con una superficie de 760.87 ha; por su cercanía con la frontera de Belice es una zona de importancia militar, además de ser la entrada de embarcaciones a la Bahía de Chetumal. En esta zona se permiten las actividades de videograbación, fotografía, sonograbación comercial, circulación de embarcaciones, investigación científica, restauración, protección, conservación y monitoreo ecológico.

Zona 7. Bacalar Chico: se encuentra en el extremo sur del parque, siendo el límite marítimo fronterizo con Belice y tiene una superficie de 689.4 ha. En esta zona están permitidas las mismas actividades que en la zona del canal de Zaragoza.

Zona 8. Zona terrestre: se encuentra en la parte terrestre de la costa, con una superficie de 2,884.62 ha. Zona dominada por un sistema de humedales en los cuales residen una gran variedad de especies, entre ellas aves migratorias. Se le considera como una zona con potencial para el ecoturismo. Las actividades permitidas son investigación científica, educación ambiental, recorridos en senderos, restauración, protección, conservación y monitoreo ecológico.

Las estrategias y acciones para garantizar el manejo, el desarrollo sustentable, la conservación y la restauración de los ecosistemas dentro del polígono del PNAX según la CONANP (2004) son las siguientes:

Protección del parque

Estas acciones corresponden a la Secretaría de Marina (SEMAR), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Coordinación Estatal de Protección Civil (COEPROC). El plan de manejo establece que la inspección y la vigilancia deben de llevarse a cabo todos los días del año, por lo cual es necesario contar con el personal capacitado y los equipos necesarios. Todos los implicados están obligados a seguir las reglas administrativas establecidas, de lo contrario se tomará registro de las transgresiones. Los límites del parque se marcan mediante un sistema de boyas. En caso de siniestro se debe proceder con estricto apego al Plan Nacional de Contingencias, con la participación organizada de las instancias gubernamentales correspondientes.

Monitoreo

Dado que los ecosistemas que se encuentran dentro del polígono del parque son diversos y complejos, cualquier modificación en sus estructuras podría afectarlos. Por lo anterior, el monitoreo en el PNAX es fundamental, y el plan de manejo establece que la CONANP debe tener presencia permanente en el parque y dar seguimiento a los proyectos de conservación y manejo. El monitoreo dentro del parque tiene como objetivo erradicar la pesca furtiva, la violación de las vedas, el uso de métodos de pesca inadecuados, así como el apoyo en actividades de investigación sobre los recursos pesqueros.

Investigación científica

La investigación es indispensable para lograr un manejo y conservación adecuado de los recursos naturales, por ello en el PNAX se promueve la participación de las distintas instituciones de investigación científica y de la sociedad civil para llevar a cabo estudios o proyectos que permitan evaluar, proteger y manejar la biodiversidad del parque.

Pesquerías y turismo

Para controlar las actividades y reducir el impacto a los ecosistemas del PNAX, las personas físicas o morales que realizan actividades de pesca dentro del polígono requieren de una concesión o autorización emitida por la SAGARPA. En cuanto a los prestadores de servicios turístico es necesario que cuenten con permiso y/o concesión por parte de la SERMARNAT.

La SAGARPA, a través diversos medios de comunicación como carteles, foros, y cápsulas informativas, comunican a los pescadores las restricciones del parque, principalmente las temporadas de veda, así como artes y equipo de pesca autorizados. En general la comunidad de Xcalak consume principalmente especies de escama, mientras que la langosta espinosa (*P. argus*) es para el aprovechamiento comercial (López Jiménez, 2017).

Educación ambiental y difusión

Dentro de las actividades realizadas en el PNAX se encuentran los programas de educación ambiental sobre los ecosistemas, su importancia, función, aprovechamiento y conservación. Dichos programas se basan en foros, pláticas y visitas guiadas, siempre con el apoyo de instituciones educativas, la sociedad civil y el gobierno. El PNAX también promueve que se den a conocer los resultados de los proyectos de investigación, monitoreos y actividades que se llevan a cabo dentro de su polígono.

Características biológicas y servicios ambientales del Parque

El PNAX ha sido descrito como un importante corredor biológico para el intercambio de especies con otras áreas marinas protegidas de México (Reserva Estatal Santuario del Manatí y ANPs del norte del estado de Quintana Roo) y Belice [Bacalar Chico Marine Reserve y Corozal Bay Wildlife Sanctuary] (CONANP, 2004).

Todos los ecosistemas del PNAX son altamente productivos y las actividades económicas del poblado de Xcalak dependen de ellos (López Jiménez, 2017). En el norte del PNAX se encuentra un complejo lagunar conformado por las lagunas Huach, Santa Rosa y Santa Julia (Fig 1), que hacen de esta ANP una zona única en el sur de Quintana Roo (CONANP, 2004). El complejo lagunar presenta comunicación permanente con el mar Caribe, por lo cual existe importación y exportación de materia orgánica, nutrientes y sedimentos (CONANP, 2004). En este complejo lagunar pueden encontrarse vegetación halófila (*Ambrosia hispida*, *Sesuvium portulacastrum* y *Canavalia rosea*), matorral costero (*Bumelia americana* y *Pithecellobium keyense*), selva baja costera (*Pouteria campechiana* y *Metopium brownei*), marismas (*Eleocharis cellulosa*, *Sarcocornia perennis*, *Sporobolus virginicus* y *Avicennia germinans*), zacatal (*Spartina spartinae*), selva baja inundable y baja caducifolia, así como manglares (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*); Carranza Sánchez et al., 1996; CONANP, 2004).

Los ecosistemas de manglar han sido descritos como de gran beneficio para la zona costera; por ejemplo, la epidermis de las hojas de estos árboles son fuente de nutrientes que promueven el desarrollo del fitoplancton, constituyendo así el primer nivel para las cadenas tróficas. Los manglares y pastos marinos también han sido descritos como hábitats que proporcionan un lugar de crianza y protección de juveniles de una gran variedad de peces e invertebrados marinos (López Jiménez, 2017; Sanjurjo Rivera y Welsh Casas, 2005). Adicionalmente, tienen la capacidad de disminuir la carga de materia orgánica en los suelos, permitiendo filtrar aguas residuales (Bouillon et al., 2008; Sanjurjo Rivera y Welsh Casas, 2005), además de que evitan la erosión de la costa, aunque esto depende de la severidad del oleaje y del grado de conservación (López Jiménez, 2017; Sanjurjo Rivera y Welsh Casas, 2005). Los manglares, marismas y pastos marinos contribuyen a mitigar el cambio climático gracias a su capacidad de almacenar grandes cantidades de carbono, el cual es denominado carbono azul, por lo que su degradación puede ser fuente de emisión de carbono (Howard et al., 2014; Radabaugh et al., 2018).

En el PNAX se han registrado 31 especies de mamíferos terrestres, entre las que se encuentran algunas consideradas en peligro de extinción (P) de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT (2010), como: mono araña (*Ateles geoffroyi*) y mono saraguato (*Alouatta pigra*), tapir (*Tapirus bairdii*), jaguar (*Panthera onca*), ocelote (*Leopardus pardalis*), tigrillo (*Leopardus wiedii*) y manatí (*Trichechus manatus*); además de una especie endémica con protección especial (Pr): el zorrillo espalda blanca (*Conepatus semistriatus*); Carranza Sánchez et al., 1996; CONANP, 2004). En cuanto a especies de aves, en el parque se han registrado 115 y en el oeste de Xcalak, en la Bahía de Chetumal, se localiza una zona de anidación de aves como cormoranes (*Phalacrocorax auritus*), fragata (*Fragata magnificensa*) y garza (*Casmerodius albus*). El número de especies de anfibios y reptiles que habitan en el PNAX asciende a 23, entre las cuales se encuentran la iguana (*Ctenosaura similis*), la boa (*Boa constrictor*) y la tortuga (*Rhinoclemmys areolata*), todas ellas en la categoría de especies amenazadas (A; Carranza Sánchez et al., 1996; CONANP, 2004). En la laguna arrecifal del

PNAX el hábitat que domina es la vegetación sumergida, con dos especies de pasto marino: el pasto manatí (*Syringodium filiforme*) y el pasto tortuga (*Thalassia testudinum*), ambas especies recientemente incluidas en la NOM-059-SEMARNAT (2010) en las categorías de amenazada y sujeta a protección especial, respectivamente. Los pastos marinos aportan diversos servicios ambientales ya que son fuente de alimentación para diversas especies, sirven de sustrato para otro tipo de vegetación y favorecen el almacenamiento del carbono orgánico. Este último servicio depende del tamaño de la hoja y del porcentaje de cobertura; en el PNAX la vegetación de pastos está bien conservada y se extiende desde la playa hacia el arrecife (Calva-Benítez y Torres-Alvarado, 2011; Hernández Arana, 2010). Sin embargo, del 2014 a la fecha se ha experimentado una afluencia masiva de sargazo pelágico que se acumula en la costa, el cual al descomponerse genera una “marea marrón” que causa la reducción de luz, oxígeno y pH, lo cual ha resultado en la mortalidad de los pastos marinos cercanos a la costa con una pérdida en la biomasa subterránea de hasta el 99.5% (van Tussenbroek et al., 2017). En el PNAX se han registrado 79 especies de macroalgas bentónicas (división: Chlorophyta, Phaeophyta y Rhodophyta) y en la zona de La Poza, ubicada al sur del parque, se identificaron un total de 56 especies de macroalgas (CONANP, 2004).

Los arrecifes de coral en general propician la pesca comercial, el turismo y las actividades recreativas, además de que reducen considerablemente la energía de las olas (Graham y Nash, 2013; Woodhead et al., 2019). El sistema arrecifal del PNAX forma parte de Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), el cual se encuentra conformado por una barrera arrecifal paralela a la costa, con discontinuidades debido a la presencia de canales (Hernández Arana, 2010). El arrecife de coral en el PNAX presenta al menos 43 especies de corales duros como: cerebro (*Pseudodiploria strigosa*), estrella (*Siderastrea* spp.), dedos (*Porites* spp.), coral montaña (*Orbicella* spp.), cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*) y cuerno de alce (*Acropora palmata*; CONANP 2004). Los géneros *Acropora* y *Orbicella* se encuentran entre los principales constructores del arrecife en el PNAX (López Jiménez, 2017), sin embargo, en la última década estos géneros han sufrido una disminución en sus coberturas, por lo que actualmente se enlistan en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat (2010) en las categorías sujeta a protección especial (Pr) y amenazadas (A), respectivamente. Aunado a esto, los arrecifes de coral han enfrentado una diversidad de amenazas como lo son: el cambio climático, la sobrepesca, la eutrofización y, en los últimos cuatro años, la enfermedad de pérdida de tejido de coral duro (SCTLD por sus siglas en inglés; Alvarez-Filip et al., 2019). Esta es una enfermedad que afecta a más de 20 especies de corales duros en el Caribe, entre ellas a *Dendrogyra cylindrus*, *Meandrina meandrites* y *Eusmilia fastigiata* (Alvarez-Filip et al., 2019; González Quiñones et al., 2022). Aunque el PNAX presenta un bajo porcentaje de SCTLD (< 10%), esta enfermedad puede ser la más amenazante para los corales debido a sus altos índices de prevalencia, virulencia, transmisión y mortalidad, así como al gran número de especies susceptibles (Alvarez-Filip et al., 2019). En cuanto a los corales gorgonáceos, en el arrecife de Xcalak se han registrado un total de 28 especies (Carranza Sánchez et al., 1996), entre ellos el abanico de mar (*Plexaura homomalla*) que se encuentra en la categoría protección especial (Pr), con prioridad para su recuperación y conservación de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT (2010). Los corales gorgonáceos son componentes importantes para la comunidad coralina debido a que ayudan a la formación de arena y sedimentos finos, además de que brindan protección y alimento para numerosas especies (Carranza Sánchez et al., 1996).

En el arrecife se encuentran especies de importancia comercial como la langosta espinosa (*P. argus*) y el caracol rosado (*L. gigas*), históricamente sujetas a procesos de sobreexplotación, por lo que ahora cuentan con una regulación para sus capturas. Parte de las normas para la regulación pesquera en ambas especies incluyen una veda, que en el caso de la langosta espinosa abarca del 1 de marzo al 30 de junio de cada año. En cuanto al caracol rosado, en el año 2012 se estableció una veda temporal de 5 años (del 21 de noviembre del 2012 al 28 de febrero del 2017), y a partir del 2018 la veda quedó establecida para el mes de febrero y del 1 de mayo al 30 de noviembre de cada año (INAPESCA, 2018). En el PNAX se han registrado más de 140 especies de peces como: pargo criollo (*Lutjanus analis*), raya pinta (*Aetobatus narinari*), negrilla (*Mycteroperca bonaci*) entre otros. Sin embargo, en las últimas décadas se ha registrado una disminución en el número de especies de importancia comercial y ecológica. Los pescadores reportan que las especies de mero (*Epinephelus* spp.), y otros peces piscívoros se han vuelto menos frecuentes y han reducido su tamaño corporal (Schmitter-Soto et al., 2018); para el caso específico de los meros (*Epinephelus* spp.) se ha impulsado un plan de manejo para su recuperación y conservación, lo cual incluye una veda del 15 de febrero al 15 de marzo de cada año en toda la Península de Yucatán (SAGARPA, 2014). Además, en el 2009 el pez león (*Pterois* spp.) se registró por primera vez en el PNAX y en solo tres años ya se encontraba plenamente establecido en diferentes ecosistemas como pastos marinos, manglares y el arrecife coralino (Sabido-Itzá et al., 2016). Se trata de un depredador voraz, dado que se ha comprobado que puede consumir hasta 49 especies de peces arrecifales en la región (Arredondo-Chávez et al., 2016), por lo que desde el inicio de su invasión se han realizado campañas de captura con la comunidad. Asimismo, con la actualización de la NOM-059 en el 2019, se incluyeron 10 especies de la familia Scaridae (peces loros) en la

categoría de sujetas a protección especial debido a su importancia en el forrajeo de macroalgas, manteniendo los arrecifes limpios para el crecimiento de los corales (McField et al., 2020; Paddock et al., 2006).

Características económicas y socio-culturales.

Según INEGI (2010) Xcalak tenía una población total de 375 habitantes, 189 hombres y 186 mujeres, con un alto grado de migración; las principales actividades económicas registradas son la pesca y el ecoturismo. Actualmente Xcalak cuenta con hoteles, restaurantes y línea telefónica con internet. La principal vía de acceso al poblado es terrestre, mediante la carretera federal número 307, además de tener otras entradas vía marítima y aérea; esta última conformada por una aeropista de 800 m de longitud ubicada a 3.3 km del poblado de Xcalak (CONANP, 2004).

La historia de los asentamientos humanos en Xcalak comienza en la época prehispánica; en la zona se encuentran siete sitios arqueológicos de origen maya (entre Punta Gavilán y el poblado de Xcalak), los cuales formaban parte de una serie de puertos que rodeaban la Península de Yucatán, y que se utilizaban para comercio a gran escala (CONANP, 2004; Daltabuit Godás et al., 2006). Los puertos eran controlados por los Puntunes, población maya que habitaba en la península de Yucatán con presencia hasta Sula, Honduras (Daltabuit Godás et al., 2006; López Santos et al., 1997).

Desde el siglo XVI y hasta finales del XIX los piratas ingleses y los mayas rebeldes controlaban la península de Xcalak, debido a un abandono de la región. Después de la independencia de México y durante el gobierno del presidente Porfirio Díaz, la armada de México inicia la pacificación de la península de Xcalak, al mismo tiempo que se establecían los límites territoriales entre Honduras Británica (actual país de Belice) y México, acordando que el límite se encontraría en la boca de canal de Bacalar Chico, separando a Cayo Ambergris, Belice, de la península de Xcalak (López Santos et al., 1997). El 19 de mayo de 1900 fue fundada Xcalak, posteriormente el gobierno de México ordena la creación de un puerto, el cual se convierte en la base militar de la Flotilla del Sur, además, se constituye como el primer astillero del Caribe Mexicano (Daltabuit Godás et al., 2006). El objetivo del puerto fue ejecutar una campaña militar de ocupación definitiva para suspender el suministro de armas a los mayas rebeldes en la llamada Guerra de Castas (Daltabuit Godás et al., 2006; López Santos et al., 1997).

Además de Vigía Chico y Puerto Morelos, Xcalak llegó a ser uno de los tres pueblos costeros más importantes de Quintana Roo. El puerto de Xcalak era el principal punto de entrada hacia Payo Obispo, que desde el 16 de febrero de 1937 se nombra como Chetumal, permitiendo la llegada de mercancías y provisiones desde el estado de Veracruz, a través de la Bahía de Chetumal (Daltabuit Godás et al., 2006; López Santos et al., 1997). Después de su fundación, la principal actividad económica en Xcalak fue la explotación del coco, sus habitantes producían de 250 a 300 toneladas de copra por mes, llegando a desplazar a la pesca como principal actividad económica (Daltabuit Godás et al., 2006).

Para 1950, con una población de 527 habitantes, Xcalak tenía una economía sólida con cine, fábrica de refrescos y casas de madera con arquitectura inglesa de hasta tres pisos (Daltabuit Godás et al., 2006; López Santos et al., 1997). Sin embargo, el 27 de septiembre de 1955 la costa del sur de Quintana Roo fue impactada por el huracán Janet, categoría 5 según la escala Saffir Simpson, con vientos de más de 280 Km/h (Rodríguez Alarcón, 2019), lo cual constituyó uno de los desastres naturales más devastadores en la historia de Xcalak. Este huracán destruyó las plantaciones de coco y la infraestructura, además de que provocó grandes pérdidas humanas, quedando solo 35 habitantes. Fue declarado zona de desastre; la mayoría de los sobrevivientes emigraron a Chetumal y a San Pedro, Belice. Xcalak fue parcialmente repoblado por la gente que decidió quedarse después del huracán Janet y por personas provenientes de San Pedro y Sartenejas, Belice, pero sobre todo la repoblación estuvo basada en inmigrantes provenientes de otras comunidades de Quintana Roo, Veracruz y Tabasco (Daltabuit Godás et al., 2006; López Santos et al., 1997).

El resurgimiento de Xcalak se da como un pueblo pesquero. La Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Andrés Quintana Roo es de gran relevancia para la organización de la comunidad ya que administra la pesca y la comercialización de los recursos, ofreciendo garantías a sus integrantes para que permanezcan en la localidad (Buitrago Tello et al., 2012; López Santos et al., 1997). Los pescadores mantienen lazos de amistad y parentesco con los pescadores de San Pedro, Belice, por lo cual se considera que la población de Xcalak es de origen maya, mestizo y afroamericano (López Santos et al., 1997). Durante los años noventa se incrementó la presión sobre los recursos pesqueros, causando una disminución en las capturas, por lo que la cooperativa limitó la aceptación de nuevos socios; se negaba la afiliación a quienes no residieran en el poblado de Xcalak, incluyendo a pescadores beliceños, a pesar de sus vínculos sociales (Buitrago Tello et al., 2012). En 1996 el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET), concluyó que 10% de Xcalak y sus zonas aledañas pueden ser utilizadas para el desarrollo turístico, y la

mayor parte para el turismo alternativo, además de esclarecer el derecho de la tierra (Buitrago Tello et al., 2012; Hadad y Fraga, 2014).

Programas y acciones de conservación

En el PNAX se promueve la investigación que aborde las temáticas de evaluación de la pesca de langosta espinosa (*P. argus*) y caracol rosado (*L. gigas*), estudios sobre el impacto y trabajo comunitario para el control del pez león (*Pterois volitans* y *P. miles*; Fig 2), conectividad y reclutamiento de peces arrecifales, monitoreo poblacional de manatí antillano (*T. manatus*; Fig 3), así como el monitoreo y restauración arrecifal. Entre las instituciones que han abordado distintas temáticas de investigación en el PNAX están el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal (TecNM/ITCH), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) / Unidad Chetumal, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) / Unidad Mérida, la Universidad Autónoma de México (UNAM) / Campus Puerto Morelos y la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo (UAQROO).

Figura 2. Curso de capacitación para elaborar artesanías con pez león.



Nota. Fotografía de Miguel Mateo Sabido Itzá.

Figura 3. Manatí antillano (*Trichechus manatus*) en el arrecife de Xcalak.



Nota. Fotografía de Miguel Mateo Sabido Itzá.

La participación comunitaria en acciones de monitoreo, investigación y restauración de ecosistemas también juega un papel importante en el PNAX, ya que con estas acciones se logra involucrar a los pobladores en la conservación. Por ejemplo, entre el 2011 y el 2018 la agrupación “Jóvenes por Xcalak” (Fig 4), conformada por personas locales de entre 14 y 24 años, fueron capacitados en técnicas de buceo y de captura de datos biológicos en ambientes marinos, con el objetivo de apoyar en la evaluación del ecosistema arrecifal y especies prioritarias como tortugas marinas (*Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Caretta caretta* y *Dermochelys coriácea*), caracol rosado (*L. gigas*), langosta espinosa (*P. argus*) y pez león (*P. volitans* y *P. miles*; López Jiménez, 2017). Sin embargo, a la fecha los integrantes del grupo se han incorporado a otras actividades productivas, disminuyendo significativamente su participación en las acciones de monitoreo, por lo que será necesario fortalecer y capacitar a la nueva generación de jóvenes interesados en conservar su ANP.

Figura 4. Monitoreo arrecifal con el grupo "jóvenes por Xcalak".



Nota. Fotografía de Miguel Mateo Sabido Itzá.

Como parte del Programa de Vigilancia Comunitaria (PROVICOM), y el Programa de Empleo Temporal (PET), que a partir del 2019 es llamado Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies en Riesgo (PROREST), cada año se conforman comités de vigilancia y monitoreo comunitario que realizan recorridos de vigilancia acuática y terrestre, captura y control de pez león y monitoreo de caracol rosado y langosta espinosa. Además, suelen conformarse otros comités para la recolecta de sargazo, restauración de duna costera y manejo de residuos sólidos.

Los encallamientos de embarcaciones son perturbaciones antropogénicas con capacidad de cambiar drásticamente la comunidad coralina, en el PNAX entre 2005 y 2011 se registraron siete impactos con una afectación de 2,539 m², por lo que en el parque se aplica el Manual Coordinado de Procedimientos Ambientales Administrativos y Legales para la atención inmediata en caso de un encallamiento provocado por embarcaciones, con cuya base la CONANP y los grupos comunitarios apoyan en la recuperación y monitoreo de los daños ambientales ocasionados (García Rivas et al., 2011).

El Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES), por medio de capacitación y financiamiento de los proyectos de las comunidades locales dentro de un ANP, tiene como objetivo promover el aprovechamiento de los recursos ambientales con un enfoque sustentable (SEMARNAT, 2019). Este programa ha apoyado a lo largo del tiempo a la comunidad de Xcalak y a organizaciones como la sociedad pesquera Andrés Quintana Roo y la cooperativa de servicios turísticos Bahía Blanca (CONANP, 2020). Recientemente beneficiaron a las artesanas locales con capacitación y compra de materiales, apoyo en la implementación de actividades productivas como el aprovechamiento del coco, instalación de apiarios para producción de miel, capacitación en temas de ecología marina, instalación de contenedores para residuos sólidos, señalización tanto marina como terrestre y mejoramiento de infraestructura de la comunidad.

Conclusiones

La creación del PNAX se llevó a cabo debido a la iniciativa de los pobladores locales. Es un ANP de gran relevancia ya que cuenta con diversos ecosistemas marinos como manglar, pastos marinos, arrecifes, playas y lagunas costeras que son altamente productivos y promueven las actividades económicas del poblado de Xcalak, además de que forman parte de un corredor biológico con otras áreas marinas protegidas de México y Belice. En la actualidad tanto población como gobierno siguen interesados en participar activamente en la conservación, aprovechamiento sustentable y el manejo del PNAX a pesar de que esta ANP, junto al poblado de Xcalak, ha enfrentado serias dificultades ambientales como: el huracán Janet en 1955, la disminución de algunos recursos pesqueros así como de ciertos mamíferos y plantas, la llegada de enfermedades como las causantes de pérdida de tejido en corales duros, la invasión del pez león y las arribazones de sargazo. No obstante, dado que el plan de manejo data de 2004 es aconsejable actualizarlo tomando en cuenta las nuevas problemáticas que enfrenta la región, así como la nueva información disponible.

Referencias bibliográficas

- Alvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A. y González-Barrios, F. J. (2019). A rapid spread of the stony coral tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ*, 7, e8069. <https://doi.org/10.7717/peerj.8069>
- Arredondo-Chávez, A. T., Sánchez-Jimenez, J. A., Ávila-Morales, O. G., Torres-Chávez, P., Herrerías-Diego, Y., Medina-Nava, M., Madrigal-Guridi, X., Campos-Mendoza, A., Domínguez-Domínguez, O. y Caballero-Vázquez, J. A. (2016). Spatio-temporal variation in the diet composition of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae), in the Mexican Caribbean: Insights into the ecological effect of the alien invasion. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 3(46). <https://doi.org/10.3750/AIP2016.46.3.03>
- Bouillon, S., Connolly, R. M. y Lee, S. Y. (2008). Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. *Journal of Sea Research*, 59(1-2), 44-58. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.001>
- Buitrago Tello, D., Marín Guardado, G. y Fraga Berdugo, J. (2012). Turismo, globalización y sociedades locales en la península de Yucatán, México. En G. M. Guardado, A. G. de Fuentes y M. D. Godás (Eds.), *El turismo como destino: pesca, conservación de la biodiversidad y desarrollo turístico en Xcalak, un pueblo costero del Caribe Mexicano* (pp. 75-108). Pasos, Revista de Turismo y Patrimonio Cultural. www.pasosonline.org
- Calva-Benítez, L. y Torres-Alvarado, R. (2011). Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*, 27, 133-144.
- Carranza Sánchez, J., Molina Islas, C., Bezaury Creel, J., López Santos, C. y McCann, J. (1996). Caracterización de la zona de Xcalak, Quintana Roo, México. *Sian Ka'an Serie Documentos*, 5, 1-68.
- CONANP. (2004). Programa de manejo parque nacional, Arrecifes de Xcalak. Diario Oficial de la Federación, 32.
- CONANP. (2018). Región península de Yucatán y Caribe Mexicano. Decreto de Áreas Naturales Protegidas. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/region-peninsula-de-yucatan-y-caribe-mexicano?state=published>
- CONANP. (2020). Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (Procodes) 2008. Acciones y Programas. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-conservacion-para-el-desarrollo-sostenible-procodes-2008>
- Daltabuit Godás, M., Vázquez, L. M., Cisneros, H. y Ruiz, G. A. (2006). Xcalak, Quintana Roo. En M. D. Godás (Ed.), *El turismo costero en la ecorregión del Sistema Arrecifal Mesoamericano* (pp. 232-260). Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.
- Dulzaides Iglesias, M. E. y Molina Gómez, A. M. (2004). Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Acimed*, 12(2), 1-1.
- García Rivas, M. del C., Hadad López, W., Gómez Poot, J., Roldán Serralde, R. y Vega Zepeda, A. (2011). *Prevención y manejo de encallamientos de embarcaciones en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, México: Una respuesta temprana para lograr el éxito*. Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 64, 192-196.
- González Quiñones, A. S. (2022). *Síndrome blanco y blanqueamiento coralino en tres arrecifes del sur de Quintana Roo*. [Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Chetumal, México].
- Graham, N. A. J. y Nash, K. L. (2013). The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs*, 32(2), 315-326. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0984-y>
- Hadad, W. y Fraga, J. (2014). Parque nacional Arrecifes de Xcalak en el Caribe Mexicano. En J. Fraga, L. Khafash y G. Villalobos Zapata (Eds.), *Turismo y sustentabilidad en la península de Yucatán* (pp. 153-159). Universidad Autónoma de Campeche, CINVESTAV-Unidad Mérida.

- Hernández Arana, H. (2010). *Caracterización del ANP Parque Nacional Arrecifes de Xcalak y formulación de un programa de monitoreo* [Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM015]. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.
- Hernández, J. S. y Vizcarra, J. J. (2015). *Didáctica para la formación integral en la sociedad del conocimiento*. Horson ediciones. México. 2015.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M. y Pidgeon, E. (Eds.). (2014). *Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- INAPESCA. (2018). Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de La Federación, 1-106.
- López, C. (2003). Análisis de la aplicación del Manejo Integrado de Recursos Costeros en Xcalak. *Boletín Amigos de Sian Ka'an*, 8-10.
- López Jiménez, L. N. (2017). Conservación en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. *Teoría y Praxis*, 13(21), 9-30. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYP21/01>
- López Santos, C., McCann, J., Molina Islas, C. y Rubinoff, P. (1997). *Estrategia comunitaria para el manejo de la zona de Xcalak, Quintana Roo, México*. Comité Comunitario Para La Protección y Manejo de Los Recursos Costeros de Xcalak, Amigos de Sian Ka'an, Centro de Recursos Costeros de La Universidad de Rhode Island.
- McField, M., Drysdale, I., Giró Petersen, A., Soto, M., Craig, N., Rueda Flores, M. y Kramer, P. (2020). *2020 Mesoamerican Reef report card*. Healthy Reefs. www.healthyreefs.org
- Paddock, M. J., Cowen, R. K. y Sponaugle, S. (2006). Grazing pressure of herbivorous coral reef fishes on low coral-cover reefs. *Coral Reefs*, 25, 461-472.
- QGIS Development Team. (2021). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project
- Radabaugh, K. R., Moyer, R. P., Chappel, A. R., Powell, C. E., Bociu, I., Clark, B. C. y Smoak, J. M. (2018). Coastal blue carbon assessment of mangroves, salt marshes, and salt barrens in Tampa Bay, Florida, USA. *Estuaries and Coasts*, 41, 1496-1510. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9475-6>
- Rodríguez Alarcón, M. N. (2019). El huracán Janet y el desastre de 1955 en Quintana Roo: estudio de una coyuntura crítica. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(10), 162-190.
- Sabido-Itzá, M. M., Medina-Quej, A., De Jesús-Navarrete, A., Gómez-Poot, J. M. y García-Rivas, M. D. C. (2016). La Estructura de tallas como evidencia del establecimiento poblacional del pez león *Pterois volitans* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) en el sur del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 353. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18943>
- SAGARPA. (2014). Plan de manejo pesquero de mero (*Epinephelus morio*) y especies asociadas en la Península de Yucatán. Diario Oficial de La Federación.
- Sanjurjo Rivera, E. y Welsh Casas, S. (2005). Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*, 74, 55-68.
- Schmitter-Soto, J. J., Aguilar-Perera, A., Cruz-Martínez, A., Herrera-Pavón, R. L., Morales-Aranda, A. A. y Cobián-Rojas, D. (2018). Interdecadal trends in composition, density, size, and mean trophic level of fish species and guilds before and after coastal development in the Mexican Caribbean. *Biodiversity and Conservation*, 27(2), 459-474. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1446-1>
- SEMARNAT. (2010). Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010#:~:text=Norma%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D059%2DSEMARNAT%2D2010%2C%20Protecci%C3%B3n,Lista%20de%20especies%20en%20riesgo>.
- SEMARNAT. (2019). Reglas de Operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (Procodes). Diario Oficial de La Federación, 1-91.
- Van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A. y Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. On near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 272-281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>
- Woodhead, A. J., Hicks, C. C., Norström, A. V., Williams, G. J. y Graham, N. A. (2019). Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology*, 33(6), 1023-1034. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13331>

ALGORITMO PREDICTOR-CORRECTOR PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES

Maria de la Luz López-González¹, Norma Leticia Flores-Martínez²
Hugo Jiménez Islas³

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 17/01/2023 Aceptado: 20/06/2023 Publicado: 30/06/2023

Resumen.- Las técnicas de optimización por búsqueda directa son usadas extensamente para resolver problemas de optimización de interés de ingeniería bioquímica y química. En este trabajo se presenta el algoritmo predictor-corrector (Luus-Jaakola y Levenberg-Marquardt), con la validación de dos casos de estudio con estimación de parámetros: 1) El primer caso de estudio fue manufacturado a partir de la solución analítica con 4 parámetros conocidos, de los cuales se diseñó un sistema de 3 ecuaciones diferenciales parciales (EDPs). 2) se presenta un caso tomado de la literatura donde se estudia el fenómeno de difusión en un gel de agarosa considerando la comparación de la solución numérica, la solución analítica y una solución que considera una mejora en las condiciones de frontera del modelo propuesto en la literatura. Las pruebas realizadas del algoritmo predictor-corrector muestran la viabilidad del método para ser adaptado en la estimación de parámetros con modelos en ecuaciones diferenciales parciales cuando existe disparidad en la magnitud de estos parámetros. La factibilidad del algoritmo Luus-Jaakola de ser acoplado con el método determinístico Levenberg-Marquardt (LM) es de utilidad para complementar la convergencia en la solución de problemas de estimación de parámetros cuando la selección de una aproximación inicial adecuada es indispensable.

Palabras Clave: Parámetros, estimación, predictor, corrector, ecuaciones.

PREDICTOR-CORRECTOR ALGORITHM FOR PARAMETER ESTIMATION IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

Abstract.- Direct search optimization techniques are widely used to solve optimization problems of interest in biochemical and chemical engineering. In this work, the predictor-corrector algorithm (Luus-Jaakola and Levenberg-Marquardt) is presented, with the validation of two case studies with parameter estimation: 1) The first case study was manufactured from the analytical solution with 4 known parameters, from which a system of 3 partial differential equations (PDEs) was designed. 2) A case taken from the literature is presented where the phenomenon of diffusion in an agarose gel is studied considering the comparison of the numerical solution, the analytical solution and a solution that considers an improvement in the boundary conditions of the model proposed in the literature. The tests performed on the predictor-corrector algorithm show the feasibility of the method to be adapted for parameter estimation with models in partial differential equations when there is disparity in the magnitude of these parameters. The feasibility of the Luus-Jaakola algorithm to be coupled with the deterministic Levenberg-Marquardt (LM) method is useful to complement the convergence in the solution of parameter estimation problems when the selection of a suitable initial approximation is indispensable.

Keywords: parameters, estimation, predictor, corrector, equations.

Introducción

Las técnicas de optimización por búsqueda directa, como las redes neuronales, los algoritmos genéticos y la optimización por Luus-Jaakola (LJ), son ampliamente utilizadas en ingeniería bioquímica y química para resolver problemas de optimización. El algoritmo Luus-Jaakola ha demostrado su eficacia al alcanzar el óptimo global en sistemas de ecuaciones algebraicas y diferenciales ordinarias. Sin embargo, en problemas altamente no lineales, encontrar el óptimo global puede ser complicado y no se garantiza con certeza (Luus, 2001). En este contexto, se han realizado comparaciones entre el algoritmo LJ y algoritmos genéticos para analizar su velocidad de convergencia y confiabilidad en la búsqueda del óptimo global (Liao y Luus, 2007).

¹ Profesor de tiempo parcial. Universidad de Guanajuato. Departamento de enfermería y obstetricia.
<https://orcid.org/0000-0002-9612-6219> mdll.lopezgonzalez@ugto.mx

² Profesor de tiempo completo. Universidad Politécnica de Guanajuato. Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
<https://orcid.org/0000-0002-4415-7224> nlflores@upgto.edu.mx

³ Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México en Celaya. Departamento de Ingeniería Bioquímica.
<https://orcid.org/0000-0002-1084-5520> hugo.jimenez@itcelaya.edu.mx (**Autor correspondiente**).

Desde su presentación original en 1973, Rein Luus ha continuado mejorando el algoritmo LJ, enfocándose en su implementación y convergencia para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales en problemas de ingeniería química, como reactores de tanque agitado continuo, procesos de fermentación y "cracking catalítico" (Luus, 2001; Liao y Luus, 2007). Algunos autores han abordado limitaciones del algoritmo y propuesto mejoras, como el Improved New Luus-Jaakola (INLJ) que utiliza la búsqueda aleatoria adaptativa con el método de identificación y diversificación (RasID) (Li D. *et al.*, 2016). Esta mejora es especialmente útil cuando se consideran restricciones en el sistema de estudio y la generación de valores aleatorios es esencial para la solución del problema.

La eficiencia y precisión del algoritmo Luus-Jaakola ha sido motivo de debate, ya que se considera un método heurístico, generando comparaciones con métodos determinísticos como el método Newton-Raphson (Wang y Luus, 1978; Spaans y Luus, 1998; Luus, 2001; Gümüş y Floudas, 2001). Sin embargo, su principal ventaja radica en la capacidad para encontrar una solución óptima en el sistema de estudio independientemente de la aproximación inicial, a diferencia de los métodos determinísticos que requieren una aproximación cercana para lograr la convergencia. Además, su facilidad de implementación, con solo 125 líneas de código y 4 condiciones de operación, lo hace atractivo en términos de esfuerzo computacional (Liao y Luus, 2007).

Aunque el algoritmo Luus-Jaakola es eficaz en la solución de sistemas de ecuaciones, enfrenta limitaciones al abordar la complejidad de los problemas de optimización del mundo real para encontrar el mínimo global. Por esta razón, se ha explorado el uso de algoritmos combinados/híbridos que combinan métodos heurísticos y determinísticos en diversas áreas de la ingeniería. La viabilidad de utilizar el algoritmo Luus-Jaakola como estrategia de búsqueda directa previa al uso de un método determinístico radica en garantizar la convergencia mediante la predicción cercana con el algoritmo LJ y luego corregir con el método determinístico para estimar parámetros (Ramírez-Martínez, 2008; Mendes-Platt, 2014; Li N. *et al.*, 2019; de Jesús Rubio, 2020; Oliveros-Muñoz *et al.*, 2021; Pal y Kaushik, 2023; Meena *et al.*, 2023).

En este trabajo se introduce una estrategia de estimación de parámetros basada en el algoritmo predictor-corrector para abordar problemas gobernados por ecuaciones diferenciales parciales no lineales. En primer lugar, el algoritmo predice una aproximación inicial cercana a la solución del sistema utilizando el algoritmo Luus-Jaakola. Luego, esta aproximación se refina mediante el método determinístico Levenberg-Marquardt (Marquardt, 1963; Ji *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022).

Esta estrategia puede aplicarse de manera efectiva en diversos problemas de ingeniería que involucren la búsqueda de mínimos globales o relativos durante el proceso de optimización, ya sea en sistemas no lineales regidos por ecuaciones algebraicas, diferenciales ordinarias o ecuaciones diferenciales parciales no lineales.

Metodología

Implementación del algoritmo Luus-Jaakola

La implementación de algoritmo Luus-Jaakola (Luus y Jaakola, 1973), contempla los siguientes puntos. 1) El algoritmo busca maximizar o minimizar la función $P = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, según sea el caso, sujeta a las restricciones: $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$; $i = 1, 2, \dots, m$, $h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$; $j = 1, 2, \dots, r$ y $q_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$; $k = 1, 2, \dots, s$. 2) El algoritmo genera números aleatorios para cada conjunto $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y se evalúa cada conjunto con respecto a las restricciones $g_i \leq 0$ y $h_j \geq 0$. De esto se podrán tener dos resultados: un conjunto de valores $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ que satisfagan las restricciones y otro grupo de valores que no cumpla las restricciones. 3) Con el conjunto de valores que cumplen con las restricciones se evalúa la función $P = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ y se almacena el valor que logre maximizar o minimizar, según sea el caso.

El algoritmo Luus-Jaakola tiene la finalidad de minimizar la suma de residuos cuadrática (S); considerando el sistema de ecuaciones, $\phi_{mod(t,x;xp_n)}$, y un conjunto de datos experimentales, ϕ_{exp} , de tal manera que la función objetivo (F) se define en la Ecuación 1.

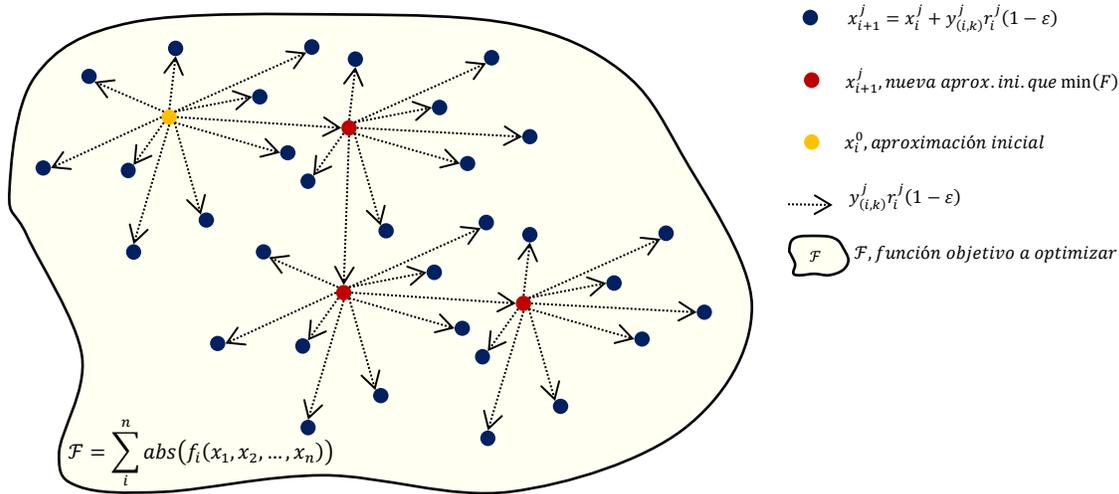
$$\mathcal{F} = \sum_j^m \sum_i^l (\phi_{exp} - \phi_{mod(t,x;xp_n)})^2 \quad (1)$$

Donde $\phi_{mod(t,x;xp_n)}$ es la ecuación j, x_{p_n} son los parámetros por estimar, m el número de ecuaciones, l el número de datos experimentales y n variables independientes. Una vez identificada la función objetivo, se toman los valores iniciales para cada parámetro por estimar ($x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$) y un valor inicial para el rango de búsqueda de cada parámetro ($r_1^0, r_2^0, \dots, r_n^0$). Posteriormente, se genera un conjunto de valores aleatorios ($Y_{i,k}$) con el fin de generar un nuevo valor (Ecuación 2);

$$x_i^j = x_i^{j-1} + y_{ki} r_i^{j-1} \quad (2)$$

Donde $j = 1, 2, \dots$, iteraciones máximas, $i = 1, 2, \dots, n$ y $k = 1, 2, \dots$, número máximo de datos aleatorios. Del conjunto \hat{x} de parámetros estimados, los valores $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ que minimicen la función objetivo (\mathcal{F}) en cada iteración j , serán asignados como conjunto inicial $[x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0]$ en la iteración $j + 1$. Durante cada iteración j , el rango es reducido con respecto al factor de contracción ($r_i^j = (1 - \varepsilon)r_i^{j-1}$, $\varepsilon > 0$), hasta llegar al máximo número de iteraciones (Salcedo, 1992; Spaans y Luus, 1998). La Figura 1 muestra una representación esquemática del funcionamiento del algoritmo Luus-Jaakola.

Figura 1. Principio del algoritmo Luus-Jaakola.



Nota. Descripción del funcionamiento del algoritmo Luus-Jaakola a partir de una aproximación inicial. Fuente: Elaboración propia.

Implementación del algoritmo Levenberg-Marquardt

Con la aproximación del vector inicial dada por el algoritmo Luus-Jaakola, se determinará la aproximación numérica del vector de parámetros con el método determinístico de Levenberg-Marquardt (Marquardt, 1963; Ji *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2021; Wang *et al.* 2022). El algoritmo de Levenberg-Marquardt está definido por:

$$Xp_n^{i+1} = Xp_n^i - [H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]^{-1} \nabla S \quad (3)$$

Donde ∇S es el gradiente de la función $S = \sum_j^m \sum_i^l (\phi_{exp} - \phi_{mod}(t, x; Xp_n))^2$ con respecto a cada parámetro por estimar;

$$\nabla S = \left[\frac{\partial S}{\partial Xp_1} \quad \frac{\partial S}{\partial Xp_2} \quad \dots \quad \frac{\partial S}{\partial Xp_n} \right]^T \quad (4)$$

H_m es la matriz Hessiana $n \times n$, donde n corresponde al número de parámetros a estimar, se calcula:

$$\text{Hessiano} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_1^2} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_1 \partial Xp_2} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_1 \partial Xp_n} \\ \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_2 \partial Xp_1} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_2^2} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_2 \partial Xp_n} \\ \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_n \partial Xp_1} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_n \partial Xp_2} & \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_n^2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$\lambda \cdot \text{diag}(H_m)$ Corresponde al parámetro de Levenberg-Marquardt LAMBDA (λ), que multiplica a la diagonal principal de la matriz Hessiana y está definida por;

$$\lambda \cdot \text{diag}(\text{Hessiano}) = \begin{bmatrix} \lambda \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_1^2} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \frac{\partial^2 S}{\partial Xp_n^2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Para evitar el cálculo de la matriz inversa $[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]^{-1}$, se define que $\frac{\nabla S}{[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]} = b$. De tal forma que sí $\nabla S [H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]^{-1} = b$, puede multiplicarse por $[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]$, y obtener $\nabla S [H_m +$

$\lambda \text{diag}(H_m)]^{-1}[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)] = b[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]$. Considerando que $[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]^{-1}[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)] = [I]$, se reescribe el sistema de ecuaciones como $\{VS\} = \{b\}[H_m + \lambda \text{diag}(H_m)]$. Este sistema de ecuaciones se resuelve empleando el método de factorización LU, para obtener el vector $\{b\}$. Por lo tanto, la aproximación con el método Levenberg-Marquardt es definida en la Ecuación 7.

$$\{Xp_n^{i+1}\} = \{Xp_n^i\} - \{b\} \quad (7)$$

Durante la implementación del algoritmo, el parámetro de Levenberg-Marquardt LAMBDA (λ) tiene un valor inicial de 1.0 y es modificado con respecto al valor de la suma de residuos cuadrática (S). Si $S^{i+1} < S^i$, disminuye el valor de LAMBDA (λ), en caso contrario LAMBDA (λ) aumenta con respecto a un factor de 1.1. Para saber si se ha alcanzado la convergencia, se compara el valor absoluto del gradiente con la tolerancia. Si el valor absoluto del gradiente de S, ($abs(\nabla S)$), es menor a 1.0E-05, de tal manera que si $(abs(\frac{\partial S}{\partial x_{p1}}) \leq TOL, abs(\frac{\partial S}{\partial x_{p2}}) \leq TOL, \dots, abs(\frac{\partial S}{\partial x_{pn}}) \leq TOL)$; se considera que el método cumple con la tolerancia y se detienen las iteraciones.

Discretización de la coordenada espacial

Después de identificar el modelo y los parámetros a estimar, es necesario adimensionalizar el modelo antes de proceder a su discretización en su coordenada espacial utilizando el método de diferencias finitas. La discretización tiene como objetivo convertir la ecuación diferencial parcial en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias. El número de ecuaciones diferenciales ordinarias resultantes dependerá del número de nodos definidos durante el proceso de discretización.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = A_0 \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{A_1}{x} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{A_2 \phi}{A_3 + A_4 \phi} \rightarrow \text{discretización} \rightarrow \frac{d\phi}{dt} \quad (8)$$

Para discretizar la ecuación diferencial parcial se utilizan las diferencias finitas centrales para los nodos interiores.

$$\frac{d\phi_i}{dt} = A_0 \left[\frac{\phi_{i+1} - 2\phi_i + \phi_{i-1}}{dx^2} + \frac{A_1}{x_i} \left(\frac{\phi_{i+1} - \phi_{i-1}}{2dx} \right) \right] + \frac{A_2 \phi_i}{A_3 + A_4 \phi_i} \quad (9)$$

$i = 2, 3, \dots, (\text{nodos}-1)$

La condición de frontera 1 representa al nodo 1 y es discretizada con diferencias finitas hacia adelante.

$$X_1 = 0, C_1 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{dx} \right) + C_2 \phi_1 = C_3 \quad (10)$$

La condición de frontera 2 representa al último nodo y es discretizada con diferencias finitas hacia atrás.

$$X_{\text{nodos}} = 1, C_4 \left(\frac{\phi_{\text{nodos}} - \phi_{(\text{nodos}-1)}}{dx} \right) + C_5 \phi_{\text{nodos}} = C_6 \quad (11)$$

El valor de dx, es definido por $dx = \frac{1}{\text{nodos}-1}$.

Resultados

Estimación de 4 parámetros en un caso de estudio manufacturado

El caso de estudio 1 (caso manufacturado) está compuesto por tres ecuaciones diferenciales parciales y se plantea a partir de la solución analítica (Ecuación 12, Ecuación 13 y Ecuación 14)

$$T_1 = X_{p1} \sin(x) + \frac{2x}{t+X_{p2}} \quad (12)$$

$$T_2 = X_{p3} x e^{-t} \quad (13)$$

$$T_3 = x^3 + \frac{2x}{t+X_{p4}} \quad (14)$$

De la solución analítica, se plantean los parámetros x_{p1} , x_{p2} , x_{p3} y x_{p4} con vector solución $x_{pn}^T = [3.0, 1.0, 2.0, 0.5]^T$. Se diseñó un sistema de tres ecuaciones diferenciales, cada una con sus correspondientes condiciones de frontera y condición inicial con una estructura distinta por ecuación diferencial;

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = 2 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial T_2}{\partial x} \right)^2 - \frac{2x}{(t+X_{p2})^2} + 2X_{p1} \sin(x) - X_{p3} e^{-t} \quad (15)$$

Donde la condición inicial es en $t = 0$, $T_1 = X_{p1} \sin(x) + \frac{2x}{X_{p2}}$. La condición de frontera 1 en $x = 0$, $T_1 = 0$ y la condición de frontera 2 en $x = 1$, $T_1 = 3 \sin(1) + \frac{2x}{t+X_{p2}}$.

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = 3 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \right) - X_{p3} x e^{-t} \quad (16)$$

Donde la condición inicial en $t = 0, T_2 = X_{p3}x$. La condición de frontera 1 en $x = 0, T_2 = 0$ y la condición de frontera 2 en $x = 1, T_2 = 2e^{-t}$.

$$\frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\partial T_1}{\partial x} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} - \frac{2x}{(t+X_{p4})^2} - X_{p1} \cos(x) - \frac{2}{t+X_{p2}} - 6x \quad (17)$$

Donde la condición inicial es en $t = 0, T_3 = x^3 + \frac{2x}{x_{p2}}$. La condición de frontera 1 en $x = 0, T_3 = 0$ y la condición de frontera 2 en $x = 1, T_3 = 1 + \frac{2}{t+X_{p4}}$.

Los datos experimentales manufacturados para la estimación de parámetros se obtienen de la solución analítica, donde se establece $x = 0.5, x_{pn}^T = [3.0, 1.0, 2.0, 0.5]^T$, abarcando un rango de tiempo de 0 a 1. Para resolver el sistema de ecuaciones en derivadas parciales (EDPs), se realizó una discretización de la coordenada espacial de cada EDP, junto con las condiciones de frontera correspondientes, generando tres sistemas de ecuaciones en derivadas ordinarias (EDOs). Estos sistemas están conformados por mallas de 15, 21 y 35 nodos, respectivamente. Se utilizó el método de Runge-Kutta de 4to orden para resolver dichos sistemas. Además, se incorpora el algoritmo Luus-Jaakola para ajustar el factor de contracción al modificar el número de nodos durante la estimación de parámetros.

En este caso, se puede apreciar que el número de iteraciones impacta la precisión del algoritmo en la aproximación obtenida mediante el uso del método Luus-Jaakola. Es fundamental considerar que, al aumentar el número de nodos en la solución numérica de las ecuaciones diferenciales parciales con diferencias finitas, también se incrementa la cantidad de ecuaciones a resolver. Del mismo modo, si se aumenta el número de iteraciones durante la ejecución del algoritmo Luus-Jaakola, el tiempo de cómputo aumenta, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de diferentes factores de contracción(ϵ) del rango de búsqueda del algoritmo Luus-Jaakola.

Nodos	Vector de parámetros encontrado	Suma de residuos cuadráticos (S)	Tiempo de cómputo (s)
15	[2.25796, 0.61267, 1.16962, 0.51642] ^{a1}	3.04299	54.91
	[2.85905, 0.89233, 1.98194, 0.50124] ^{a2}	0.02591	54.96
	[2.99448, 0.99971, 1.98668, 0.50146] ^{a3}	0.00027	54.87
	[2.25795, 0.61267, 1.16960, 0.51643] ^{b1}	3.04312	27.65
	[2.84861, 0.88345, 1.98602, 0.49980] ^{b2}	0.03068	27.59
	[2.96929, 0.98880, 1.97909, 0.50283] ^{b3}	0.00223	27.51
21	[2.25801, 0.61280, 1.16964, 0.51659] ^{a1}	2.98875	2054.00
	[2.93414, 0.95307, 1.97235, 0.50324] ^{a2}	0.00555	2387.00
	[3.00096, 1.00956, 1.97129, 0.50273] ^{a3}	0.00130	1381.37
	[2.25800, 0.61281, 1.16962, 0.51660] ^{b1}	2.98888	673.00
	[2.92489, 0.94595, 1.97954, 0.50200] ^{b2}	0.00737	691.18
	[2.98567, 0.98985, 1.97134, 0.50100] ^{b3}	0.00200	691.12
35	[2.25247, 0.61618, 1.17278, 0.52120] ^{a1}	2.78752	1936.68
	[2.96340, 0.99266, 1.91425, 0.50918] ^{a2}	0.01140	1924.10
	[2.98273, 1.00899, 1.91535, 0.50900] ^{a3}	0.01134	1964.54
	[2.25246, 0.61619, 1.17277, 0.52121] ^{b1}	2.78764	945.29
	[2.95631, 0.98824, 1.91714, 0.50943] ^{b2}	0.01164	1226.00
	[2.93932, 0.97236, 1.92994, 0.50622] ^{b3}	0.01417	925.93

Nota: Se presenta el Caso de estudio 1 utilizando diferente número de malla para la discretización de la coordenada espacial. Condiciones de operación del algoritmo Luus-Jaakola para obtener cada vector de parámetros: ^{a1}100 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.80$. ^{a2}100 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.90$. ^{a3}100 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.95$. ^{b1}50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.80$. ^{b2}50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.80$. ^{b3}50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.80$.

A continuación, se presentan los resultados de la estimación de parámetros mediante el algoritmo predictor-corrector, utilizando diferentes mallas para la discretización de la coordenada espacial y sus correspondientes condiciones de operación (ver Tabla 2). En este caso, se observa que la estimación de parámetros con una malla de 35 nodos obtuvo la menor suma de residuos cuadráticos (3.24000 E-08). Sin embargo, también requirió un mayor tiempo de cómputo debido a que se deben resolver simultáneamente 99 ecuaciones diferenciales ordinarias y 6 ecuaciones algebraicas en cada paso de integración utilizando el método de Runge-Kutta de 4to orden.

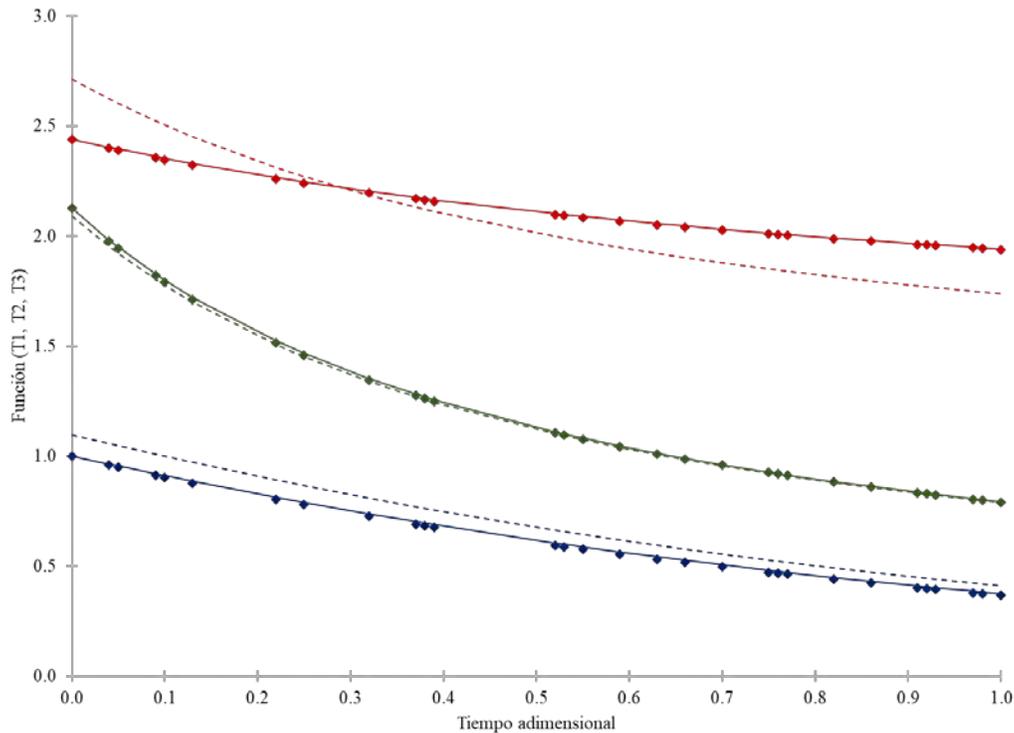
Tabla 2. Resultados de la estimación de parámetros utilizando el algoritmo predictor-corrector para el Caso de estudio 2

Nodos	Estimación de parámetros con el algoritmo predictor-corrector (LJ-LM)	Suma de residuos cuadráticos (S) con el algoritmo predictor-corrector (LJ-LM)	Tiempo de cómputo(s)
7	[2.96524, 0.97154, 1.98258, 0.50055] ^a	2.18579E-03	20.46
15	[2.99937, 0.99998, 1.99861, 0.50005] ^b	2.29720E-06	75.90
21	[2.99969, 0.99996, 1.99943, 0.50001] ^c	4.20800E-07	416.56
35	[2.99989, 0.99994, 1.99995, 0.49998] ^d	3.24000E-08	2129.95

Nota: Condiciones de operación del algoritmo predictor-corrector: ^aLuus-Jaakola (50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.95$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{im}=1.0$, No. De iteraciones=22 y $h=1E-04$), ^bLuus-Jaakola (50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.95$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{im}=1.0$, No. De iteraciones=22 y $h=1E-05$), ^cLuus-Jaakola (50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.95$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{im}=1.0$, No. De iteraciones=22 y $h=2E-06$) y ^dLuus-Jaakola (50 iteraciones, 20 valores aleatorios por iteración, $h=1E-04$ y $\epsilon=0.95$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{im}=1.0$, No. De iteraciones=22 y $h=1E-06$).

A continuación, en la Figura 2 se observa la comparación de la estimación de los parámetros para una malla de 35 nodos, se observa el modelo con la primera estimación de parámetros (LJ) y su segunda estimación (LM).

Figura 2. Estimación de parámetros con el algoritmo predictor-corrector para una malla de 35 nodos



Nota: Resultados de la estimación de parámetros del Caso 1, se presenta la estimación con Luus-Jaakola y la refinación de la solución con Levenberg-Marquardt al comparar con los datos experimentales manufacturados. En color rojo: línea sólida (LM), línea punteada (LJ), rombos(datos experimentales manufacturados para T_1); en color azul: línea sólida (LM), línea punteada (LJ), rombos(datos experimentales manufacturados para T_2) y en color verde: línea sólida (LM), línea punteada (LJ), rombos(datos experimentales manufacturados para T_3) Fuente: Elaboración propia.

En los casos de estudio manufacturados, es crucial utilizar un algoritmo predictor-corrector, como el algoritmo Luus-Jaakola, para asegurar la convergencia del método de Levenberg-Marquardt. Esto se debe a que una aproximación inicial precisa y cercana a los valores reales de los parámetros es fundamental para que el método converja exitosamente. Si la aproximación inicial no es adecuada, no hay garantía de que el método converja. Al estimar los cuatro parámetros conocidos, el algoritmo Luus-Jaakola proporciona una aproximación inicial adecuada, lo que garantiza la convergencia deseada. Por otro lado, si se utiliza únicamente el método de Levenberg-Marquardt con una aproximación inicial de 0 o 1 para cada parámetro, el método diverge. En resumen, la implementación del algoritmo predictor-corrector Luus-Jaakola es esencial en los casos de estudio manufacturados, ya que proporciona una

aproximación inicial precisa que asegura el éxito de la convergencia del método de Levenberg-Marquardt al estimar los parámetros conocidos, evitando problemas de convergencia causados por aproximaciones inadecuadas.

Difusión controlada de un péptido antimicrobiano para películas de biopolímeros

Se propone como caso de estudio 2 para validar el algoritmo predictor-corrector el modelo propuesto por Sebti *et al.* (2003) para determinar el coeficiente de difusión aparente de una solución de nisina en contacto con un gel de agarosa empleando la segunda ley de Fick. El procedimiento experimental del fenómeno de difusión estudiado se realizó con una concentración inicial de nisina en la solución de 376 µg/ mL, con una temperatura de 22.3°C y el gel de agarosa fue cortado en rebanadas delgadas de 1 mm para medir la concentración de nisina a los 5.9 días del experimento.

Sebti *et al.* (2003), proponen que modelo para la difusividad en el gel de agarosa obedece la segunda Ley de Fick dentro de un cilindro semi-infinito, donde el coeficiente de difusividad (D_{eff}) es constante (Ecuaciones 18, 19 y 20).

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \quad (18)$$

$$CF1: z = 0, \frac{\partial C_A}{\partial z} = 0 \quad (19)$$

$$CF2: z \rightarrow \infty, C_A = C_A^* = 0 \quad (20)$$

Este problema fue resuelto de forma analítica con la transformada de Laplace (Sebti *et al.*, 2013), obteniendo la siguiente solución:

$$W_A = \frac{C_0^* - C_A}{C_0^* - C_{init}} = erf\left(\frac{z}{2\sqrt{D_{eff}t}}\right) \quad (21)$$

La validación de este caso de estudio se realizó a partir de los datos experimentales reportados por Sebti *et al.* (2003) del experimento E, los cuales se obtuvieron con el software Engauge Digitizer. La solución analítica fue replicada para realizar la estimación de parámetros con el algoritmo predictor-corrector, considerando la suma de residuos:

$$\min S = \min \sum_{i=1}^{datos} \left(W_{A(experimental)} - erf\left(\frac{z}{2\sqrt{D_{eff}t}}\right) \right)^2 \quad (22)$$

De forma complementaria, se propone un modelo adicional (Flores-Martínez *et al.*, 2018). Se considera que durante el experimento de difusión la solución de nisina fue agitada lentamente, por lo tanto, se presume la existencia de resistencia interfacial y se propone una modificación al modelo de propuesto originalmente por Sebti *et al.* (2003). La mejora al modelo consiste en modificar la condición de frontera donde el gel de agarosa está en contacto con la solución de nisina (CF2). De tal forma que el modelo propuesto para este caso de estudio es;

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \quad (23)$$

$$CF1: z = 0, \frac{\partial C_A}{\partial z} = 0 \quad (24)$$

$$CF2: z = H \text{ es } -D_{eff} \frac{\partial C_A}{\partial z} = k_C (C_A - C_{SOL}) . \quad (25)$$

Este modelo se resuelve empleando el método de separación de variables, resultando la siguiente solución analítica:

$$C_A = \left(2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\lambda_n^2 D_{eff} t}}{\lambda_n + \sin \lambda_n \cos \lambda_n} \sin \lambda_n \cos \left(\lambda_n * \left(1 - \frac{z}{H} \right) \right) \right) (C_A^0 - \bar{C}_{Asol}) + \bar{C}_{Asol} \quad (26)$$

Con la función trascendente:

$$\lambda_n \text{sen} \lambda_n - \text{Bimcos} \lambda_n = 0 \quad n = 1,2,3,4,5, \dots \quad (27)$$

Este modelo fue empleado para validar la solución numérica obtenida al emplear el algoritmo predictor-corrector a partir de la Ecuación 22 con sus respectivas condiciones de frontera y condición inicial. El modelo con resistencia interfacial fue resuelto al discretizar la coordenada espacial (z), para posteriormente resolver el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias con el método de Runge-Kutta de 4to. Orden. Se discretizó el modelo con una malla de 51 nodos, para este caso de estudio en particular al conocer aproximadamente el orden de magnitud de los parámetros a estimar se agrega un factor de escala adicional al algoritmo Luus-Jaakola, de tal forma que la estimación con $Xp_i^j = (Xp_i^{j-1} + y_{ki}r_i^{j-1}) * \text{factor de escala}$. Tanto el modelo propuesto por Sebti *et al.* (2003) y el modelo sugerido por

Flores-Martínez *et al.* (2018) fueron utilizados para evaluar el algoritmo predictor-corrector al minimizar la suma de residuos cuadráticos (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la estimación de parámetros con el algoritmo predictor-corrector

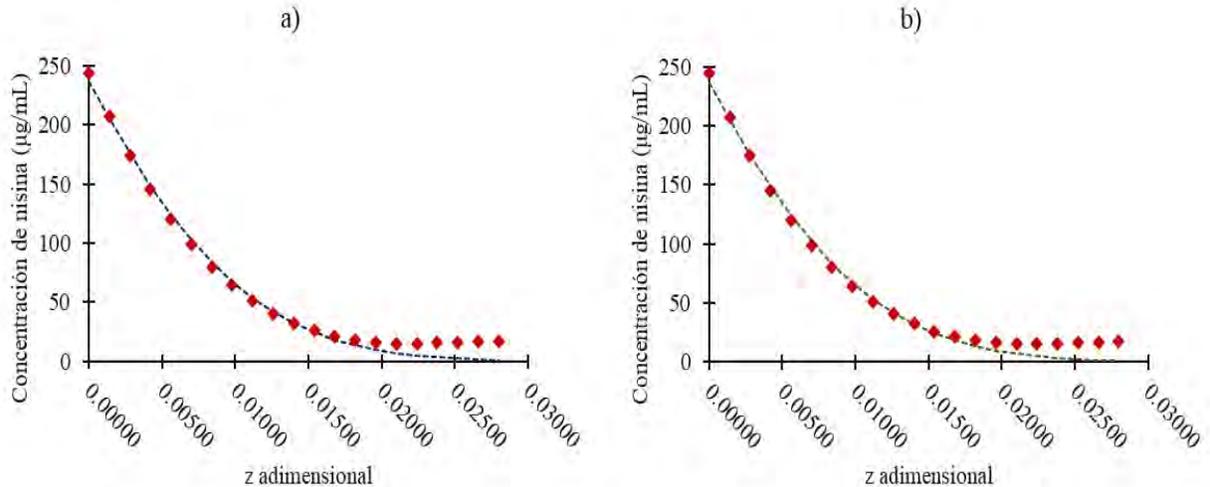
	Solución analítica con el modelo de Sebti <i>et al.</i> (2003) ^a	Solución analítica con el modelo de Flores-Martínez <i>et al.</i> (2018) ^b	Solución numérica con el modelo de Flores-Martínez <i>et al.</i> (2018) ^c
$D_{eff} \left(\frac{m^2}{s}\right)$	8.34183×10^{-11}	1.08731×10^{-10}	1.08731×10^{-10}
$K_c \left(\frac{m}{s}\right)$	-----	1.80632×10^{-8}	1.80632×10^{-8}
$C_A^0 \left(\frac{\mu g}{mL}\right)$	230.8	236.65	236.62
Error promedio (%)	33.28	30.89	27.87
Suma de residuos cuadráticos (S)	2005.89577	1923.42294	1225.95416
Coefficiente de correlación (R^2)	0.98968	0.98943	0.996398
Tiempo de cómputo (s)	0.31	-----	1533.64

Nota: Condiciones de operación del algoritmo predictor-corrector: ^aLuus-Jaakola (200 iteraciones, 100 valores aleatorios por iteración, y $\epsilon=0.90$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{ini}=1.0$, No. De iteraciones=1000), ^bLuus-Jaakola (100 iteraciones, 200 valores aleatorios por iteración y $\epsilon=0.90$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{ini}=1.0$, No. De iteraciones=1000), ^cLuus-Jaakola (50 iteraciones, 50 valores aleatorios por iteración, factor1=1E-08, factor=1E-09, h=1E-05 y $\epsilon=0.90$) y Levenberg-Marquardt ($\lambda_{ini}=1.0$, No. De iteraciones=100 y h=1E-06).

Los resultados del algoritmo predictor-corrector muestran una mejora en la estimación de parámetros, reduciendo el error promedio de un 33.28% utilizando la solución analítica basada en la transformada de Laplace (Sebti *et al.*, 2003) a un 30.89% utilizando la solución analítica por separación de variables (Flores-Martínez *et al.*, 2018). Además, se logra una estimación numérica con un error promedio del 27.55% utilizando las Ecuaciones 23, 24 y 25.

Es importante destacar que el modelo propuesto por Flores-Martínez *et al.* (2018) presenta una menor suma de residuos cuadráticos, lo que indica un mejor ajuste a los datos experimentales (Figura 3) en comparación con el modelo original propuesto por Sebti *et al.* (2003). Esto se debe a que el modelo de Flores-Martínez *et al.* (2018) incorpora la presencia de resistencia interfacial en la frontera donde la solución de nisina y el gel de agarosa están en contacto, lo cual es consecuencia de la agitación lenta de la solución de nisina.

Figura 3. Ajuste del modelo con los datos experimentales. a) Solución analítica propuesta por Sebti *et al.* (2003). b) Solución numérica obtenida de la estimación de parámetros con el algoritmo predictor-corrector del modelo propuesto por Flores-Martínez *et al.* (2018)



Nota: Datos experimentales adaptados de Sebti *et al.* (2003). Fuente: Elaboración propia.

Flores-Martínez *et al.* (2018) emplean el método de Levenberg-Marquardt para la estimación de parámetros obteniendo un coeficiente de correlación del modelo con los datos experimentales de 0.98, la estimación de parámetros partir de la solución numérica del modelo con el algoritmo predictor-corrector tiene un coeficiente de correlación de 0.99. Lo

anterior, permite validar que la estimación de parámetros puede realizarse sin conocer la solución analítica de un sistema gobernado por ecuaciones diferenciales parciales del tipo parabólico, esto sucede cuando existe la dificultad de encontrar la solución analítica de dicho sistema.

Conclusiones

El propósito de implementar un método predictor-corrector es obtener una aproximación inicial cercana a la solución al utilizar el método de búsqueda local de Levenberg-Marquardt. En este sentido, el algoritmo Luus-Jaakola, al ser un método de búsqueda directa, puede generar un vector de parámetros adecuado que luego será refinado por el método de Levenberg-Marquardt.

Las pruebas realizadas con el algoritmo Luus-Jaakola demuestran su viabilidad para adaptarse a la estimación de parámetros en modelos que involucran ecuaciones diferenciales parciales, especialmente en casos donde exista una disparidad en la magnitud de dichos parámetros. Esto es relevante, por ejemplo, al estimar coeficientes de difusividad y la constante de transferencia de masa en sistemas gobernados por la segunda Ley de Fick. El algoritmo Luus-Jaakola es capaz de proporcionar un vector inicial de aproximación apropiado. Además, se observa que el algoritmo tiene la capacidad de encontrar múltiples mínimos locales al modificar la aproximación inicial, siempre que la topología de la función lo permita.

De esta manera, el método predictor-corrector propuesto garantiza la identificación de al menos un mínimo local al estimar parámetros en sistemas de ecuaciones diferenciales parciales parabólicas, considerando sus respectivas condiciones de contorno e inicial. Esta misma estrategia puede extrapolarse a la estimación de parámetros en sistemas de ecuaciones algebraicas, sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias con condiciones iniciales, y sistemas de ecuaciones diferenciales parciales elípticas o hiperbólicas, junto con sus condiciones de contorno e inicial correspondientes. Por último, se agradece el apoyo del Tecnológico Nacional de México (TecNM) con los proyectos 13754.22-P y 17152.23-P.

Referencias bibliográficas

- De Jesús Rubio, J. (2020). Stability analysis of the modified Levenberg–Marquardt algorithm for the artificial neural network training. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 32(8), 3510-3524. DOI: 10.1109/TNNLS.2020.3015200.
- Flores-Martínez, N. L., Pérez-Pérez, M. C. I., Oliveros-Muñoz, J. M., López-González, M. L., y Jiménez-Islas, H. (2018). Estimation of diffusion coefficients of essential oil of *Pimenta dioica* in edible films formulated with Aloe vera and gelatin, using Levenberg-Marquardt method. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(2), 485-506. DOI: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n2/flores>
- Gümüş, Z. H., y Floudas, C. A. (2001). Global optimization of nonlinear bilevel programming problems. *Journal of Global Optimization*, 20(1), 1-31. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1011268113791>
- Ji, Y., Kang, Z., y Liu, X. (2021). The data filtering based multiple-stage Levenberg–Marquardt algorithm for Hammerstein nonlinear systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 31(15), 7007-7025. DOI: <https://doi.org/10.1002/rnc.5675>
- Li, D., Lu, T., Liu, L. y Jin, Q. (2016). Fractional modeling of heating process using improved NLJ algorithm. *Proceedings of the 35th Chinese Control Conference*, pp. 10447-10452. DOI: <https://doi.org/10.1109/chicc.2016.7555011>
- Li, N., Yang, H., y Mu, A. (2019). Improved Grey Particle Swarm Optimization and New Luus-Jaakola Hybrid Algorithm Optimized IMC-PID Controller for Diverse Wing Vibration Systems. *Complexity*, 2019, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/8283178>
- Liao, B. y Luus, R. (2007). Comparison of the Luus–Jaakola optimization procedure and the genetic algorithm. *Engineering Optimization*, 37(4), pp. 381-396. DOI: <https://doi.org/10.1080/03052150512331328312>
- Luo, G., Zou, L., Wang, Z., Lv, C., Ou, J., y Huang, Y. (2021). A novel kinematic parameters calibration method for industrial robot based on Levenberg-Marquardt and Differential Evolution hybrid algorithm. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 71, 102165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102165>
- Luus, R. (1998). Comments on "Dynamic Optimization of Batch Reactors Using Adaptive Stochastic Algorithms". *Ind. Eng. Chem. Res.*, p. 305. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie9708283>
- Luus, R. (2001). Comments on "Global Optimization for the Parameter Estimation of Differential-Algebraic Systems". *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, pp. 488-489. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie000602r>
- Marquardt, D. W. (1963). An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), pp. 431-441. DOI: <https://doi.org/10.1137/0111030>

- Meena, V. P., Yadav, U. K., Mathur, A., Singh, V. P., Guerrero, J. M., y Khan, B. (2023). Location and size selection using hybrid Jaya-Luus-Jaakola algorithm for decentralized generations in distribution system considering demand-side management. *IET Renewable Power Generation*, 17(6), 1535-1544. DOI: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12692>
- Mendes Platt, G., Pinheiro Domingos, R., y Oliveira de Andrade, M., (2014) Application of the Firefly and Luus-Jaakola algorithms in the calculation of a double reactive azeotrope. *Computational Science & Discovery*, 7, p. 015002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1749-4699/7/1/015002>
- Oliveros-Muñoz, J. M., Martínez-Villalba, J. A., Jiménez-Islas, H., Luna-Porres, M. Y., Escamilla-Alvarado, C., y Ríos-Fránquez, F. J. (2021). Luus-Jaakola method and ADM1 based optimization of hydrogen sulfide in anaerobic digestion of cow manure. *Biochemical Engineering Journal*, 171, 108012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108012>
- Pal, T., y Kaushik, M. (2023). Aircraft parameter estimation using a novel hybrid Luus-Jaakola/Hooke-Jeeves neural-network based optimization technique. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 237(9), 2196-2208. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544100221140980>
- Ramírez Rodríguez, J. F. (2008) Estimación de parámetros en ecuaciones diferenciales parciales parabólicas y análisis de convergencia. Tesis de maestría en ciencias, Instituto Tecnológico de Celaya.
- Salcedo, R. L. (1992) Solving nonconvex nonlinear programming and mixed-integer nonlinear programming problems with adaptive random search. *Ind. Eng. Chem. Res.* 31 262-273. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie00001a037>
- Sebti, I., Carnet, A. R., Blanc, D., Saurel, R., y Coma, V. (2003). Controlled diffusion of an antimicrobial peptide from a biopolymer film. *Chemical Engineering Research and Design*, 81(9), 1099-1104. DOI: <https://doi.org/10.1205/026387603770866245>
- Spaans, R., y Luus, R. (1992) Importance of search-domain reduction in random optimization. *J. Optim. Theory Appl.*, 75, 635-638. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00940497>
- Wang, B. C., y Luus, R. (1978) Reliability of optimization procedures for obtaining global optimum. *AIChE J.* 24, 619-626. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.690240409>
- Wang, K., Gong, W., Liao, Z., y Wang, L. (2022). Hybrid niching-based differential evolution with two archives for nonlinear equation system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 52(12), 7469-7481. DOI: 10.1109/TSMC.2022.3157816

RELACIÓN CON EL AMBIENTE IMPROVISADO POR TELETRABAJO Y LA LUMBALGIA MECÁNICO POSTURAL EN DOCENTES UNIVERSITARIOS

Karla Margarita Castilla Acosta¹, Lizbeth Castilla Acosta²,
Omar Eduardo Betanzos Martínez³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 07/03/2023 Aceptado: 20/06/2023 Publicado: 30/06/2023

Resumen. - Concientizar la inclusión de capacitación en postura ergonómica saludable previo a teletrabajo. El objetivo de la investigación es demostrar la relación de lumbalgia mecánico postural con horas de trabajo frente al computador y no utilización de equipo ergonómico. Es un estudio transversal, incluyo 50 docentes de nivel superior que realizan teletrabajo, con proporción femenino 62 % y masculino 38 %, edad promedio de 48 años y un IMC promedio de 28.96 (sobrepeso) se realizó la investigación aplicando la técnica encuesta mediante la herramienta *Googleforms*, con preguntas enfocadas a un análisis en tres dimensiones: Datos demográficos, Presencia de dolor en espalda baja en relación con lumbalgia mecánico postural y utilización de equipo no ergonómico. El resultado indica que prevalece en el objeto de estudio que el docente promedio pasa 40 horas por semana frente a la computadora, el 68 % ha presentado dolor en la espalda baja (Lumbalgia) sin irradiación hacia las piernas, el 100 % no utiliza descansa pies y el 83 % habilitó un área para realizar teletrabajo, solo el 38 % utiliza silla ergonómica (con cinco aspas y regulable en altura y profundidad). El 39% de los docentes encuestados cumple una tríada (Dolor, más de 7 horas de teletrabajo, silla no ergonómica), esta alta probabilidad de presentar lumbalgia se explica al no utilizar equipo ergonómico que corrija la lordosis y facilite la postura correcta reduciendo la compresión discal.

Palabras Clave: Lumbalgia, Docente Universitario, Teletrabajo, Ergonomía, Computadora.

RELATIONSHIP WITH THE IMPROVISED ENVIRONMENT DUE TO TELEWORK AND MECHANICAL POSTURAL LOW BACK PAIN IN UNIVERSITY TEACHERS

Abstract.- Inclusion awareness in healthy ergonomic capacity before telework. Investigation objective: Validate the relationship between mechanical lumbar pain postures and work time in front a desk, with the non-utilization of ergonomic equipment. In a universal transversal study 50 teachers that make telework of university areas were included, about 68% percent were females and 38% males, with average age of 48 years and a body mass index (BMI) average of 28.96 (overweight) the investigation was made by application of polls with the *Googleforms* tool, with focused question on a three dimensional analysis: Demographic data, back pain presence in relation with the mechanical postural lumbar pain and utilization rate of ergonomic equipment. In our objective remains that the average of teachers remain about 40 hours per week in front of a computer device, around 68% percent has signs of lower back pain (Lumbar pain) without legs irradiation, 100% do not use foot rest and 83% has an specific area for telework, only 38% percent use´s an ergonomic chair (with 5 crosses, height and deep regulation). About 39% of the teachers surveyed fulfill a triad (pain, more than 7 hours od teleworking, non-ergonomic hair), this high probability of presenting low back pain is explained by not using ergonomic equipment that corrects lordosis and facilitates the correct posture reduces compression disc.

Keywords: Low back pain, University Teachers, Telework, Ergonomics, Computer.

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura considera que más de 1.500 millones de estudiantes de 165 países, no pudieron asistir a los centros de enseñanza debido a la pandemia por Sars Cov2 (Naciones Unidas, 2020), forzando a la comunidad académica internacional a capacitarse en la nuevas tecnologías de aprendizaje y enseñanza, incluida la educación a distancia y la educación en línea (De Castro, 2020; Naciones Unidas, 2020). Asimismo, la organización internacional del trabajo (OIT), estima que uno de cada cinco trabajadores en el mundo ha vivido esta realidad en algún momento de la pandemia en América Latina, al menos 23 millones de personas han laborado de forma remota en el último año (OIT, 2021).

¹ Docente. División de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos. kcastillaa@itesco.edu.mx (**Autor corresposnal**).

² Medico Cirujano. lizbethcastilla@hotmail.com. Servicios Médicos, Petróleos Mexicanos.

³ Profesor. División Ingeniería en Sistemas. Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos. obetanzosm@itesco.edu.mx

Por otro parte, al año 2020 existen 84.1 millones de internautas en México (Asociación de Internet MX, 2021b) de estos el 6% corresponde a educación. Impulsado por la demanda de conectividad ante trabajo y clases a distancia y necesidad de entretenimiento en casa, siendo la ciudad de México la entidad federativa más aventajada, donde 19% de los empleos se pueden realizar de forma remota; seguida por nuevo león (14.2%) y el estado de Querétaro (12.2%). Los menos aventajados son Guanajuato (7.6%), Guerrero (7.3%) y Veracruz (7.3%) (Forbes México, 2021).

En México, se realizó en un estudio de estrés laboral (Asociación de Internet MX, 2021c) (Asociación de Internet MX, 2021a) encontrando que, el incremento de horas dedicadas al teletrabajo, un 32 % señala que no llega a terminar sus tareas por la carga de trabajo en el hogar y debe continuar fuera de horario, y hasta un 41 % de personas que realizan teletrabajo padece estrés, trastornos de los músculos y problema circulatorio. Durante el año en confinamiento, las actividades relacionadas con la teleeducación y teletrabajo han incrementado por parte de los usuarios, como son curso en línea 24.8%, crear contenidos en páginas 29.4% y videoconferencias 26.6% como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Actividades en línea. Fuente Asociación de Internet MX. Mayo 2021.

	Top of Mind (Primera Mención)	Share of Mind (Resto de Menciones)	Asistida
Acceder a Redes Sociales	66.1%	77.0%	86.8%
Mensajería instantánea	26.5%	71.7%	83.9%
Enviar y recibir mails	17.8%	36.1%	53.4%
Ver películas/series	15.3%	23.8%	68.2%
Escuchar música/radio	15.1%	23.5%	68.6%
Utilizar mapas	8.8%	15.3%	47.5%
Videoconferencias	7.1%	8.8%	26.6%
Leer/ver contenido relevante	6.3%	7.2%	20.2%
Cursos en línea	6.0%	7.0%	24.8%
Realizar trámites	6.0%	6.9%	25.3%
Crear contenido en páginas	5.1%	8.1%	29.4%
Solicitar transporte	3.4%	4.0%	18.3%
Operaciones bancarias	3.2%	3.4%	16.0%
Comprar bienes en línea	2.6%	3.1%	20.4%
Comprar comida/supermercado	2.4%	2.8%	13.9%
Buscar empleo	2.2%	2.6%	11.8%
Jugar en línea	1.8%	3.9%	10.5%
Buscar pareja	0.8%	0.8%	7.8%

Elaboración propia.

Marco teórico

Por su parte, en el diario oficial de la federación de fecha 11 de Enero del 2021, se adiciona a la Ley Federal de Trabajo en México, el capítulo XII bis en materia de teletrabajo, Artículo 330 A, que menciona: *“El teletrabajo es una forma de organización laboral subordinada que consiste en el desempeño de actividades remuneradas, en lugares distintos al establecimiento del patrón, por lo que no requiere la presencia física de la persona trabajadora bajo la modalidad de teletrabajo en el centro de trabajo, utilizando primordialmente las tecnologías de la información y comunicación para el contacto y mando”* (DOF, 2021).

En la actualidad el artículo 330 C, contempla incluir la modalidad de teletrabajo en el contrato colectivo de trabajo, que en su caso exista, y establecer los mecanismos que garanticen la vinculación y contacto, aunado a la propuesta que se da en Norma Oficial Mexicana, NOM-037 (Secretaría del Trabajo y Previsión, 2022). Derivado de la necesidad de realizar teletrabajo, se hace necesario emitir una norma oficial obligatoria, que regule los aspectos de seguridad y salud en el teletrabajo, para esto se propuso la NOM 037, enfocada a regular las condiciones de seguridad y salud en la modalidad de teletrabajo.

Según el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) el 75 % de los trabajadores padece fatiga, ansiedad y altos niveles de estrés, siendo este de los criterios más importantes para la presencia de síndrome doloroso lumbar (IMSS, 2018). Es decir, las instituciones de salud elaboran diagnósticos de seguridad y salud en el trabajo para identificar condiciones inseguras o peligrosas; incluyendo los factores de riesgo ergonómico o psicosocial capaces de modificar las condiciones del ambiente laboral, sin embargo, hasta que la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) emita una norma oficial, no existen normas específicas que indiquen como debe proceder el empleador para garantizar la seguridad y salud en teletrabajo.

Normalmente los trabajadores destinan de 5 a 12 horas al trabajo, aunque de manera general, el promedio se mantiene en 8 horas. No obstante, ante la pandemia por la que atravesamos hay grupos que han sentido mayor carga de trabajo, tales como las mujeres, el grupo de 30 a 39 años y los que ubicamos en la zona Centro de México, quienes a su vez afirman que bajo esta modalidad se sienten más productivos.

Aunque las lesiones dorso / lumbares y de extremidades se deben principalmente a la manipulación de cargas, también son comunes en entornos de trabajo con posturas inadecuadas con elevada carga muscular estática, conforme la fatiga se hace más crónica aparecen las contracturas, el dolor y la lesión, formándose un círculo vicioso de dolor, en la que intervienen diversos factores.

Se considera síndrome doloroso lumbar a cualquier dolor en la espalda que se localiza en el borde inferior de la última costilla y la región glútea inferior (Orrego & Morán, 2014), constituye la segunda causa de consulta médica, después de infecciones de tipo respiratorio, afectando al 80 a 90 % de personas en algún momento de su vida, cuando es de tipo crónico tiene inicio insidioso, asociado a sobrecarga postural, sobrepeso, estrés y otras patologías, de etiología mecánica en el 98 % de los lumbagos.

Aplicar teletrabajo se considera una modalidad laboral elite, artículos (AMEDIRH, 2021) determinan que las áreas que más lo están aplicando en México son: administración, finanzas, contabilidad, tecnologías de la información y recursos humanos, sin visualizar el área docente. Dingel y Neiman (Dingel & Neiman, 2020) indican que de las 39 ocupaciones de la CIUO [Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones bajo la responsabilidad del Organización Internacional del Trabajo (OIT)] determinan que en Estados Unidos el 41.6% de los trabajos se puede realizar de manera remota; esta proporción se reduce al 22.3% en México.

Por otra parte, para los servicios de medicina del trabajo ergonomía se define como el estudio científico de los factores humanos en relación con el medio ambiente de trabajo y el diseño de los equipos (INSST, 2022), (Figueroa Valero, 2022). Es de gran significancia para las investigaciones de salud ocupacional conocer la situación de profesores e investigadores de diferentes partes del mundo, para averiguar qué efectos han tenido sus hábitos posturales en el hogar, y la presencia de lumbago (dolor en espalda baja), la utilización de sillas ergonómicas, tiempos de descanso, con el mayor uso de la computadora derivados del confinamiento laboral por Sars Cov2 y cómo están haciendo frente a los cambios. Las lecciones aprendidas y en los resultados positivos que puede tener el confinamiento mundial para la educación superior. La figura del docente, propósito de este estudio es una pieza fundamental en el proceso de adquisición de conocimientos, gestión y transformación de la información, sin embargo, ante los cambios repentinos de teletrabajo se ha dejado a un lado la capacitación del conocimiento sobre educación postural y prevención de dolor lumbar en docentes universitarios.

Materiales y métodos

El estudio es enfoque cuantitativo y de corte transversal. Lo que permite el cálculo directo de la prevalencia de la condición. Los datos recopilados en este estudio provienen de personas que son similares en la variable de ocupación y permanece constante en todo el estudio. Se realizó la investigación aplicando la técnica encuesta mediante la herramienta *Googleforms*, con preguntas abiertas, dicotómicas y selección múltiple enfocadas a un análisis en tres dimensiones:

1. Datos demográficos,
2. Presencia de dolor en espalda baja en relación con lumbalgia mecánico postural, y
3. Utilización de equipo no ergonómico.

Para la recolección de la información del estudio se hace uso de la herramienta *Googleforms* formulando las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuál es su edad?
- b) ¿Cuál es su sexo?
- c) ¿Cuál es su estatura?
- d) ¿Cuál es su peso?
- e) ¿Cuántas horas permanece sentado frente al computador?
- f) Del tiempo que pasa frente al computador, ¿Utiliza algún tipo de apoyo para sus pies?
- g) ¿Cuántos días de la semana labora frente al computador?
- h) Durante su teletrabajo ha presentado dolor en la espalda baja (Lumbalgia)
- i) Sí la respuesta es sí, ¿cuántas veces durante su teletrabajo?
- j) El dolor que siente se irradia hacia las piernas

- k) Previo al teletrabajo padecía dolor en la espalda baja (Lumbalgia)
- l) Habilitó repentinamente un área para realizar sus actividades de teletrabajo
- m) Su asiento de teletrabajo es regulable en altura y profundidad
- n) Cuantas aspas tiene su silla de teletrabajo

La población muestra incluyo 50 docentes de nivel superior de instituciones públicas, con la condición que estuvieran realizando teletrabajo, la encuesta fue de índole anónimo e individual, garantizando la confianza que sus respuestas se manejan de forma confidencial.

Resultados

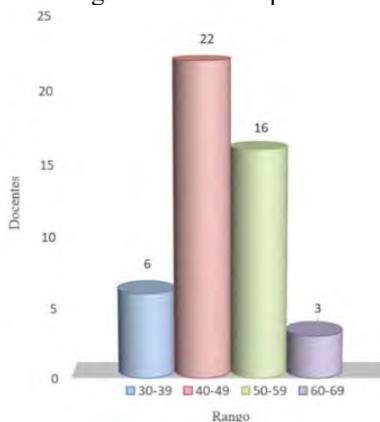
La población muestra estuvo constituida por 50 docentes nivel universitario, tres encuestas fueron excluidas por no contar con la información solicitada en forma correcta y lógica.

- En la variable estatura respondió estatura 1.0 metros (docentes universitarios)
- En la variable ha tenido dolor en espalda baja, respondió a veces (no cuantificable)
- En la variable cuantos días a la semana labora frente al computador respuesta 9 (no lógico)

1. Datos demográficos

1.1 Edad. En la primera parte del análisis, se encontró que el rango de edad que predomina es 40 a 49 años (46.8 % de la muestra), tratándose del segmento de personas que se han integrado al mercado de trabajo, seguida por el segmento de 50 a 59 años (34 %) ambos segmentos representan el 80%, con una edad promedio de 48 años, para lo que se presenta el Gráfico 1.

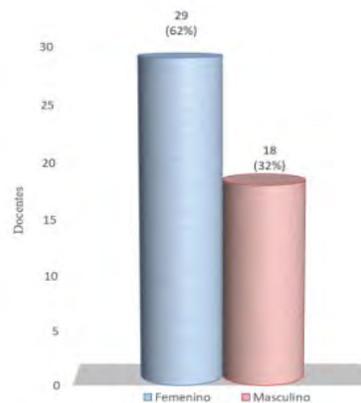
Gráfico 1. Rango de edad de la población muestra.



Elaboración propia.

1.2 Sexo. La segunda variable de nuestra encuesta incluyo sexo femenino o masculino, donde obtuvimos mayoría femenina con un 62 % de la población muestra (Gráfico 2).

Gráfico 2. Sexo de población muestra.



Elaboración propia.

1.3 Índice de Masa Corporal. El estudio se realizó en México, país que se encuentra dentro de los primeros lugares de obesidad, siendo esta una causa probable de lumbalgia mecánico postural, no se puede dejar de analizar el índice de masa corporal, por lo que se solicitó a la población muestra su peso y talla, para la asociación de masa y talla del individuo utilizamos el cálculo dividiendo los kilogramos de peso por el cuadrado de la estatura en metros (kg/m²), tomándose en cuenta la clasificación de la organización mundial de la salud con IMC [Índice de masa corporal sirve para medir la relación entre el peso y la talla, lo que permite identificar el sobrepeso y la obesidad en adultos (IMSS, 2022)] descritos en la Tabla 2, con rangos de 18.5 a 24.9 peso normal, de 25 a 29.9 sobrepeso, 30 a 34.9 obesidad grado I, 35 a 39.9 obesidad grado II, y un IMC mayor a 40, representa obesidad mórbida, estando el grueso de nuestra población en estudio en sobrepeso (Gráfico 3). La fórmula para calcular el IMC:

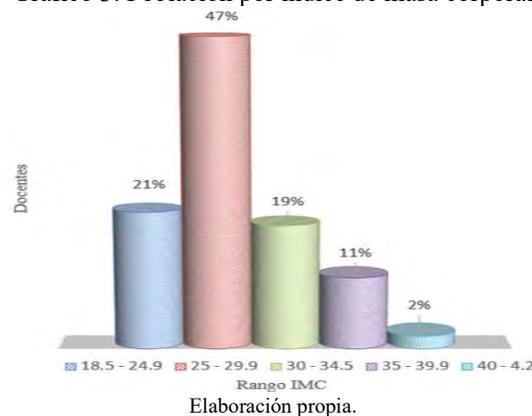
$$IMC = \frac{\text{peso}}{\text{estatura}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Tabla 2. Índice MC

RANGO IMC	DOCENTES
18.5-24.9	10
25-29.9	22
30-34.5	9
35-39.9	5
40-42	1

Elaboración propia.

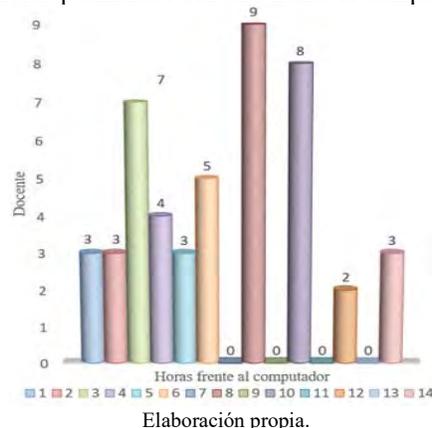
Gráfico 3. Población por índice de masa corporal



2. Presencia de dolor en espalda baja, en relación con lumbalgia mecánico postural

2.1 En la variable de horas frente al computador, con una media de 7.5 horas, tenemos un tiempo máximo de 14 horas y un mínimo de una hora al día, como se muestra en el gráfico 4. Un dato curioso, que después de la hora 6 los docentes de este estudio no laboran en hora impar es decir 7,9,11 y 13 horas (Gráfico 4).

Gráfico 4. Relación de cuantas horas permanece sentado frente al computador durante una jornada laboral.



2.2 La variable, ¿Cuántos días de la semana labora frente al computador?, tuvo una media aritmética de 5 días a la semana, este resultado indica que el docente promedio pasa 40 horas por semana frente al equipo de cómputo. Resultado obtenido, de la correlación con las horas frente al computador (7.5*5 Horas/semana).

2.3 Posteriormente se analizó la semiología de un síntoma que permite apreciar la situación clínica en la lumbalgia mecánico postural. Gráfico 5, este gráfico demuestra la presencia de síndrome doloroso mecánico postural en 64% población docente muestra:

- A) Durante su teletrabajo ha presentado dolor en la espalda baja (lumbalgia); el 68 % de los docentes universitarios encuestados respondió que si
- B) El dolor que siente se irradia hacia las piernas; el 64% del total de los docentes universitarios incluidos en la encuesta respondió que no.

Gráfico 5. Relación de dolor irradiado.

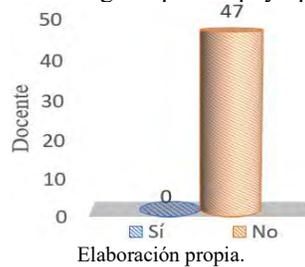


3. Utilización de equipo no ergonómico

3.1 Del tiempo que pasa frente al computador, ¿Utiliza algún tipo de apoyo para sus pies?

Con respecto a la variable de uso de apoyo para sus pies durante la jornada de teletrabajo, el resultado es contundente por parte de los encuestados, esto debido a que el 100% de ellos coinciden en la ausencia de un apoyo para sus pies durante su jornada de teletrabajo (Gráfico 6).

Gráfico 6. Utiliza algún tipo de apoyo para sus pies.



3.2. Habilitó repentinamente un área para realizar sus actividades de teletrabajo

Se considera que el área de trabajo debe tener espacio suficiente para permitir cambiar de postura evitando esfuerzo postural. Se encontró que el 83% de la población de estudio tuvo que habilitar un área para realizar las actividades de teletrabajo (Gráfico 7). Sin constatar que, esta área tuviera las dimensiones suficientes para el cambio de posiciones, lo que deja oportunidad para el seguimiento de este estudio.

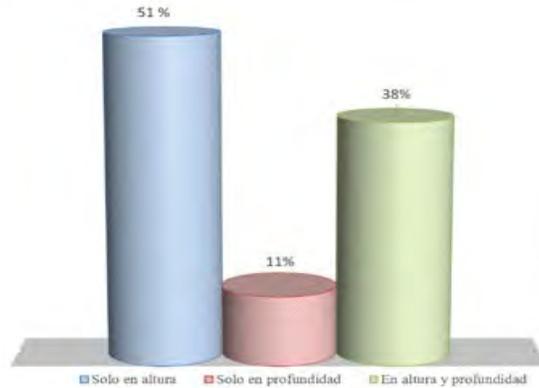
Gráfico 7. Porcentaje de población muestra que indica la habilitación de área para actividades de teletrabajo.



3.3 Su asiento de teletrabajo es regulable en altura y profundidad

Según el Gráfico 8, la mayoría de los docentes universitario encuestados correspondientes a un 51.1% utilizan un asiento de trabajo regulable en altura, el 10.6% regulable solo en profundidad, y el 38.3% regulable en altura y profundidad.

Gráfico 8. Porcentaje de docentes con respecto a la característica de ajuste y regulación en el asiento para teletrabajo.

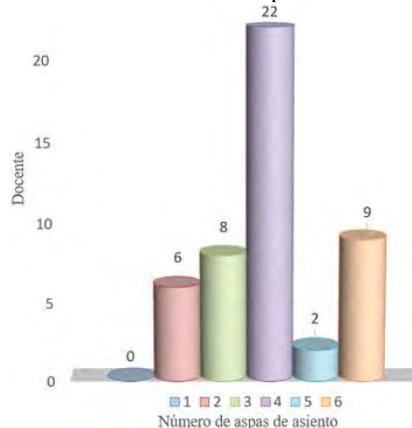


Elaboración propia.

3.4 Cuantas aspas tiene su silla de teletrabajo

A pesar de no ser un criterio universal, el cómo debe ser la estabilidad en una silla ergonómica se considera que debe tener 5 aspas (patas) distribuidas en forma de estrella; el 47% utiliza sillas con 4 aspas y solo el 4% su silla cuenta con 5 aspas Gráfico 9.

Gráfico 9. Número de aspas del asiento.



Elaboración propia.

Discusión

El estudio realizado demuestra la relación de lumbalgia mecánico postural (LMP) con horas de trabajo frente a computador por motivo de teletrabajo de docentes universitarios, en el contexto de confinamiento por Pandemia SARS COV2. Teniendo en cuenta estos resultados, se encontró que el 61.7% son mujeres, asimismo la edad promedio de los docentes universitarios está en un rango de 40-59 años perteneciendo a la población económicamente activo de México. Existen factores de riesgo para la LMP, como el sobrepeso y obesidad que incrementan la carga mecánica, el grueso de la población de estudio que corresponde al 80% al menos presenta sobrepeso, esto de acuerdo a su índice de masa corporal.

Cualquier dolor de espalda sin irradiación que se localiza entre el borde inferior de la última costilla y la región glúteo inferior se considera síndrome doloroso lumbar, la mayoría tiene un curso benigno, cuando es crónico es de inicio insidioso y se puede asociar a sobre carga postural, sobrepeso, estrés y otras patologías. El 68% de los docentes universitarios presenta dolor en espalda baja, y el 64% menciona que ese dolor no se irradia a sus piernas, por lo que

se considera se trata de una lumbalgia originada por la adopción de una postura corporal alejada de la neutral es decir esfuerzo postural.

En clase presencial el docente universitario en un módulo con una hora de duración, realiza movimientos que varían entre estar de pie, y caminata entre filas de los alumnos en lapso de 15 a 20 minutos, si la actividad se extiende a un segundo modulo, puede entonces cambiar a posición sedente en un lapso de 20 minutos para posteriormente reiniciar la bipedestación. Se encontró en el teletrabajo un gran número de horas en posición sedente, de acuerdo al estudio los docentes universitarios pasan un promedio de 7.5 horas durante 5 días a la semana sentados frente a un computador.

Aunado a todo lo anterior los docentes universitarios no recibieron capacitación sobre ergonomía geométrica y posturas en largas jornadas laborales, como un soporte en la espalda baja, espalda recargada, la utilización de descansa pies con lo que se logra cadera y rodilla flexionadas a 90°. Asimismo, hacen falta estudio de riesgo que integren la caracterización de los riesgos en el trabajo derivados de la era de la información la cual tuvo sus inicios en 1990.

Conclusiones

Prevalece en nuestro objeto de estudio que el docente promedio pasa 40 horas por semana frente a la computadora, el 68 % ha presentado dolor en la espalda baja (Lumbalgia) sin irradiación hacia las piernas, el 100 % no utiliza descansa pies y el 83 % habilitó un área para realizar teletrabajo, solo el 38 % utiliza silla ergonómica (con cinco aspas y regulable en altura y profundidad).

Reforzando así la relación de horas de teletrabajo con la ergonomía.

El 39% de los docentes encuestados cumple una tríada (Dolor, más de 7 horas de teletrabajo, silla no ergonómica), esta alta probabilidad de presentar lumbalgia se explica al no utilizar equipo ergonómico que corrija la lordosis y facilite la postura correcta reduciendo la compresión discal.

Es recomendable el uso de apoyo para los pies con características de antideslizante y regulable en altura e inclinación, se considera una buena práctica, que aporta descanso durante la jornada laboral.

Referencias bibliográficas

- AMEDIRH. (2021, octubre 29). ¿Cuántos mexicanos pueden optar el home office? » AMEDIRH. *AMEDIRH*. <https://www.amedirh.com.mx/servicios/noticias/cuantos-mexicanos-pueden-optar-el-home-office/>
- Asociación de Internet MX. (2021a). *Estudios de Educación en Línea en México | AIMX*. <https://www.asociaciondeinternet.mx/estudios/educacion-en-linea-mexico>
- Asociación de Internet MX. (2021b, mayo). *Estudios de Hábitos de Internet en México | AIMX*. <https://www.asociaciondeinternet.mx/estudios/habitos-de-internet>
- Asociación de Internet MX. (2021c, septiembre). *Estrés laboral en México 2021*. <https://www.asociaciondeinternet.mx/estudios/asociacion>
- Cheung, M.-C., Lai, J. S. K., Yip, J., & Cheung, J. P. Y. (2021). Increased Computer Use is Associated with Trunk Asymmetry That Negatively Impacts Health-Related Quality of Life in Early Adolescents. *Patient preference and adherence*, 15, 2289-2302. <https://doi.org/10.2147/PPA.S329635>
- Cleonares Borbor, A. M., Gavilánez Villamarín, S. M., Nevárez Moncay, J. C., & Armijos Moreta, J. F. (2021). *ERGONOMÍA EN DOCENTE UNIVERSITARIO DURANTE LA PANDEMIA GENERADA POR LA COVID-19*—
- De Castro, P. (2020). *COVID-19 y educación superior: Entrevista con el Dr. Pablo de Castro* [Interview]. United Nations. <https://www.un.org/en/node/84967>
- Dingel, J. I., & Neiman, B. (2020). How many jobs can be done at home? *Journal of Public Economics*, 189, 104235. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2020.104235>
- DOF. (2021, enero 11). *DOF - Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609683&fecha=11/01/2021
- Figuroa Valero, J. (2022). *¿Qué es la ergonomía?* <http://www.anahuac.mx/mexico/noticias/Que-es-la-ergonomia>
- Forbes México. (2021, junio 22). *La población mexicana usuaria de internet aumentó 72% en 2020*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/la-poblacion-mexicana-usuaria-de-internet-aumento-72-en-2020/>
- García-Salirrosas, E. E., Sánchez-Poma, R. A., García-Salirrosas, E. E., & Sánchez-Poma, R. A. (2020). Prevalencia de trastornos musculoesqueléticos en docentes universitarios que realizan teletrabajo en tiempos de COVID-19. *Anales de la Facultad de Medicina*, 81(3), 301-307. <https://doi.org/10.15381/anales.v81i3.18841>
- IMSS. (2018). *Estrés Laboral*. <http://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/estres-laboral>

- IMSS. (2022). *¿Qué es el índice de masa corporal? | Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado | Gobierno | gob.mx.* <https://www.gob.mx/issste/es/articulos/que-es-el-indice-de-masa-corporal?idiom=es>
- INSST. (2022). *¿Qué es la ergonomía? - Portal INSST - INSST.* Portal INSST. <https://www.insst.es/-/que-es-un-ep-2>
- Kreiner, Scott, & Daniel K. Resnick. (2020). *Diagnosis & Treatment of Low Back Pain.* 217.
- Meziat Filho, N., Coutinho, E. S., & Azevedo e Silva, G. (2015). Association between home posture habits and low back pain in high school adolescents. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 24(3), 425-433. <https://doi.org/10.1007/s00586-014-3571-9>
- Mohseni Bandpei, M. A., Ehsani, F., Behtash, H., & Ghanipour, M. (2014b). Occupational low back pain in primary and high school teachers: Prevalence and associated factors. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 37(9), 702-708. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2014.09.006>
- Naciones Unidas. (2020, abril 23). *COVID-19 y educación superior: Educación y ciencia como vacuna contra la pandemia | Naciones Unidas.* United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/covid-19-y-educaci%C3%B3n-superior-educaci%C3%B3n-y-ciencia-como-vacuna-contra-la-pandemia>
- OIT. (2021, julio 6). *OIT: Al menos 23 millones de personas han transitado por el teletrabajo en América Latina y el Caribe* [Noticia]. http://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_811302/lang--es/index.htm
- Olson, K. A. (2009). *MANUAL PHYSICAL THERAPY OF THE SPINE.* Saunders, an imprint of Elsevier Inc.
- Orrego, M., & Morán, N. (2014). *Ortopedia y Traumatología Básica.* Universidad de los Andes.
- Secretaría del Trabajo y Previsión. (2022, febrero 22). *Garantizar condiciones de seguridad y salud a los trabajadores, retos de la NOM en Teletrabajo.* gob.mx. <http://www.gob.mx/stps/prensa/garantizar-condiciones-de-seguridad-y-salud-a-los-trabajadores-retos-de-la-nom-en-teletrabajo?idiom=es>
- Vidal-Conti, J., Carbonell, G., Cantalops, J., & Borràs, P. A. (2021). Knowledge of Low Back Pain among Primary School Teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11306. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111306>

ESTRATEGIAS PARA LA SUBSISTENCIA DE LAS MIPYMES DE OTHÓN P. BLANCO DURANTE LA CONTINGENCIA POR COVID-19

Claudia Hernández Campos¹, Mario Arturo Selem Salinas²,
Eustacio Díaz Rodríguez³, Corina Santana Duarte⁴

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 07/03/2023 Aceptado: 20/06/2023 Publicado: 30/06/2023

Resumen.- Las MIPYMES son muy vulnerables a los cambios repentinos, como se observó tras la pandemia de COVID-19. En el Estado de Quintana Roo, muchas de las empresas se vieron afectadas al cerrar sus negocios temporalmente, sin embargo, muchos negocios han logrado subsistir con diferentes estrategias, por lo que en este trabajo se pretende identificar las acciones que realizaron y que han permitido mantener en operación a las MIPYMES, particularmente en la colonia Solidaridad, de la Ciudad de Chetumal Quintana Roo. Para el estudio se aplicó una encuesta a una muestra de 100 establecimientos seleccionados a conveniencia, analizando la información mediante estadística descriptiva. Entre los hallazgos principales se encontró que la mayor afectación financiera para las empresas fue a sus compromisos de pago de salarios y dudas en el corto plazo con un 40% y 30% respectivamente; los factores que inciden en la subsistencia del negocio son la situación económica prevaleciente en el país con un 60%, seguido de la inseguridad y falta de financiamiento con 20% para ambos y que los ingresos del negocio en su mayoría se usan para solventar los gastos familiares en el 50% de los casos.

Palabras Clave: COVID-19, MIPYMES, factores, subsistencia, afectaciones.

STRATEGIES FOR THE SUBSISTENCE OF OTHÓN P. BLANCO MSMEs DURING THE COVID-19 CONTINGENCY

Abstract.- MSMEs are very vulnerable to sudden changes, as observed after the COVID-19 pandemic. In the State of Quintana Roo, many of the companies were affected by temporarily closing their businesses, however, many businesses have managed to survive with different strategies, so this paper aims to identify the actions that they carried out and that have allowed them to maintain in operation to MSMEs, particularly in the Solidaridad neighborhood, of the City of Chetumal Quintana Roo. For the study, a survey was applied to a sample of 100 establishments selected at convenience, analyzing the information through descriptive statistics. Among the main findings, it was found that the greatest financial impact for companies was their commitments to pay wages and doubts in the short term with 40% and 30% respectively; The factors that affect the subsistence of the business are the prevailing economic situation in the country with 60%, followed by insecurity and lack of financing with 20% for both and that the income of the business is mostly used to cover expenses. relatives in 50% of the cases.

Keywords: COVID-19, MSMEs, factors, subsistence, effects.

Introducción

Considerando lo señalado por García (2020), como consecuencia de la pandemia el principal sector perjudicado fue el mercado laboral mexicano, a causa de esto se perdieron más de un millón de empleos, y seguidamente se incrementó la informalidad laboral.

En este sentido la pandemia trajo consigo problemas económicos ocasionando el cierre de establecimientos, por consiguiente, el empleo de las personas se vio afectado. En la actualidad las MIPYMES se encuentran económicamente con desafíos importantes, todas se vieron afectadas por los cierres temporales, aunado a eso les fue difícil mantenerse a flote aun cuando los gobiernos ofrecieron apoyos financieros, que no fueron suficiente para cubrir las necesidades, esto sumándole el pago de impuestos que realiza cada empresa; al principio de la contingencia así como el cierre de las actividades, no estaban siendo presionados con sus obligaciones, sin embargo apenas se reactivaron, las instituciones fiscalizadoras como el Sistema de Administración Tributaria (SAT) y el Instituto de

¹Contador Público. Tecnológico Nacional de México campus IT de Chetumal. claudth035@gmail.com

²Maestro en Administración de Negocios. Tecnológico Nacional de México campus IT de Chetumal. Mario.ss@chetumal.tecnm.mx

³Profesor. Tecnológico Nacional de México campus IT de Chetumal. Eustaci.dr@chetumal.tecnm.mx (**Autor Corresponsal**).

⁴Profesor. Tecnológico Nacional de México campus IT de Chetumal. Corina.duarte@hotmail.com

Seguridad Social (IMSS) continuaron cobrando y en ningún momento condonaron o difirieron alguna obligación a los contribuyentes, manteniendo los cobros habituales; por consiguiente, las entidades tuvieron pérdidas económicas, así como el pago de impuestos correspondiente, entre otros gastos; como consecuencia las empresas difícilmente pudieron mantenerse en operación.

Con base a lo antes planteado, es importante identificar aquellas acciones administrativas que resultaron satisfactorias para hacer frente a los efectos económicos negativos derivados de la pandemia, lo anterior permitirá conocer las buenas prácticas de las MIPYMES en Quintana Roo con el fin de diseñar protocolos ante futuras contingencias sanitarias, de igual forma permitirá a las autoridades municipales y estatales identificar aquellas apoyos necesarios que permitan mantener un ecosistema económico operando.

Para lograr lo anterior, se identificó en la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el universo de MIPYMES establecidas en el área geográfica de la colonia Solidaridad en el Municipio de Othón P. Blanco y se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas con un 92% de confianza y un margen de error de 8% y una muestra de 93; sin embargo se consideró ampliar 7 unidades económicas adicionales para prever algún error de datos durante la validación, considerando entonces un total de 100 establecimientos a los cuales se les aplicó un instrumento de investigación mediante la selección a conveniencia. La encuesta se dirigió a dueños o gerentes de la empresa mediante herramientas digitales como aplicaciones de redes sociales y correos electrónicos. Para el análisis se emplean técnicas de estadística descriptiva, presentando la información en tablas y cálculo de valores relativos.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las estrategias implementadas por las MIPYMES localizadas en la colonia Solidaridad del municipio de Othón. P. Blanco durante la pandemia de COVID-19, las cuales les permitieron continuar en operación durante la contingencia.

Marco teórico

Empresa. El término de empresa se ve definido en distintos enfoques, tanto sociales, de producción, económico, jurídico y demás, cada uno de estos se interpreta de manera distinta, pero llegan al mismo concepto el cual es el beneficio directo para la sociedad. Los autores Pérez & Gardey (2008) mencionan que el objetivo de una empresa es alcanzar utilidades por medio de su cooperación en el mercado de bienes y servicios, conformada por elementos humanos, materiales y técnicos. Por otra parte, el autor Chiavenato (2005) considera que una empresa utiliza gran variedad de recursos para cumplir con los objetivos determinados. Thompson (2006) describe que una empresa es una actividad llevada a cabo por el humano, en la que se trabaja a diario, para poder tener un fin determinado.

Ahora identificando el concepto de empresa, es importante conocer cuáles son esos tipos de empresa que se tiene; respecto a lo anterior una empresa se va a considerar pequeña, mediana o grande, según como esté integrada de empleados, y cuantos ingresos logran obtener al año.

Microempresa. Por otra parte, Pérez & Merino (2009) mencionan que una microempresa es una agrupación de tamaño pequeño. Cada país la define de diferente manera de acuerdo con su variación, una microempresa tiene como máximo 10 empleados, así como el mismo dueño trabaja en la microempresa.

Pequeñas empresas. Una pequeña empresa como lo establece la Secretaría de Economía (2010) menciona que para estas pequeñas empresas dedicadas al comercio cuentan de 11 hasta 30 empleados, así como que sus ventas al año superan hasta los 4 millones y 100 millones de pesos, estas dedicadas a producción, transformación, así como la prestación de servicios, con la intención de satisfacer las necesidades de la sociedad.

Medianas empresas. Estas también dedicadas al comercio, y que tengan entre 31 hasta 100 empleados, y sus ventas sean anualmente de 100 millones y sé que superen los 250 millones, se le conoce como medianas empresas. A diferencia de las pequeñas estas sí pueden desarrollar competitividad, siempre que mejoren en sus procesos y habilidades (Secretaría de Economía, 2010).

Grandes empresas. En cambio, las grandes empresas dedicadas a servicios tienen de 101 a 251 empleados, sus ventas son elevadas a 250 millones de pesos. En México se han clasificado a las MIPYMES a través del número de empleados que laboran en ellas, sin contar ciertas variables cualitativas que permite ampliar el concepto que defina si se trata de un micro, pequeña o mediana empresa.

Subsistencia. El concepto de subsistencia está relacionado con las empresas, el autor Navarro (2018) menciona que la subsistencia se da cuando en las microempresas existe crisis, despido, falta de ingresos, es decir subsistir es poder afrontar el mal entorno en la que se encuentre la empresa ya sea ocasionada por mala administración o por lo más reciente que es el COVID-19, buscando soluciones que ayuden a evitar el desempleo que se originó a causa de esta pandemia.

Por otra parte, el autor Westreicher (2018) menciona que la economía de subsistencia es aquella en la que cada individuo o familia produce lo que consume, entendiendo que, con relación a las empresas o negocios que no tienen el adecuado capital para mantener su negocio y es así como no pueden salir de la crisis o problema en el que se enfrenten.

Las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) llevadas a cabo en el año 2015 reflejan que los negocios logran subsistir un 7.8%, sin embargo, en contraste con la afectación por COVID-19 el INEGI (2021) reportó que en el censo llevado a cabo el 2020, solo sobreviven de establecimiento el 3.9 millones equivalente a 79.2%, así como en ese periodo cerraron establecimientos el 20.8% y nacieron el 12.8%, comparando con los censos de mayo 2019 y septiembre de 2020 se tiene una disminución de 8.1%.

Razones por lo que las Micro y Pequeñas empresas no crecen

Como menciona Paredes & Peña (2016), las micro y pequeñas empresas, generan el 52% del Producto Interno Bruto (PIB) siendo la base de la economía, y el 72% del empleo directo, además de la aportación importante de empleo al país, ese fue el resultado del censo de 2009 (INEGI, 2010). Otras de las razones por las que las micro y pequeñas empresas no crecen se debe a que el mercado es muy agresivo, con poco acceso para actualizar su tecnología, así como trámites administrativos complejos, pocas facilidades para obtener crédito por lo tanto la subsistencia de las empresas es compleja, se tiene la idea que el gobierno tiene el compromiso de impulsarlos, sin embargo, debería ser un trabajo conjunto.

En base a las estadísticas en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en el censo de 2009, las razones por las que las micro y pequeñas empresas no crecen son que el 68.2% de los establecimientos se encuentran en la informalidad, por eso se consideran delimitadas ante las grandes empresas, a continuación, se enlistan las principales debilidades

- Se les dificulta obtener clientes.
- Eligen tener personal no preparado.
- Existen escasas fuentes de financiamiento.
- Se les dificulta adquirir proveedores comprometidos.
- No diferencian entre lo que es calidad y precio.
- Falta de tácticas de atención a clientes.
- Incompetencia de la dirección de estrategias de la mercadotecnia.

Desde tiempo atrás la inseguridad y violencia ha existido en cada uno de los estados, afectando a las MIPYMES, una de las razones es el robo que estas empresas sufren, afectando de esa manera el trabajo e ingresos de un sinnúmero de establecimientos, como consecuencia quedan expuestas al cierre su permanencia en el mercado (Denegri, Ley y González, 2018).

En las Encuesta Nacional de Victimización de Empresas (INEGI, 2012), en el año 2011, las microempresas que sufrieron de algún delito, siendo víctimas nueve de cada diez empresas, mientras que en el comercio fueron cinco de cada diez. Para el año 2008 a 2012 se tuvo como segundo lugar en robos a comercio que ocupó a nivel nacional a Baja California. Uno de los municipios como es el caso de Mexicali desde el 2011, se dio a conocer que obtiene el primer lugar en robos a comercio.

Robles, Bocanegra y Ordorica (2015) afirman que muchas son las causas por el cierre de las MIPYMES, entre las principales se encuentran:

- Mala Administración, esto impacta a las empresas y empleados porque no se tiene al personal adecuado ni capacitado, así como que no tienen habilidad de equilibrar los presupuestos.
- Falta de administración financiera, no mantienen un control interno y el no saber llevar el control de sus finanzas, cayendo en crisis. Ortega (2002) afirma que para que una empresa pueda alcanzar sus metas y lograr ser competente en el mercado se debe apoyar de la administración financiera, por otro lado, opina que si se

tiene un presupuesto financiero se pueden identificar anticipadamente los ingresos y egresos, así como la disponibilidad de efectivo, esquemas de pago y apoyo financiero.

- Falta de planeación estratégica, al no llevar una correcta planeación estratégica no están cumpliendo con las metas establecidas, como menciona Chiavenato (2006) cuando se tiene un dirigente principal tiene la responsabilidad de realizar el proceso de planeación, por ende, los propósitos y acciones estratégicos deben explicarse a todos los miembros de la empresa para su implantación detallando los objetivos, presupuestos, programas y planes operacionales.
- Falta de experiencia y falta de ética por ambas partes, tanto los empleados como los representantes de cada empresa.
- Problemas de financiamiento, debido a las limitaciones de acceso a créditos formales regulados por entidades bancarias, dando lugar a la aparición de créditos informales como ahorros personales, préstamos de amigos o parientes, por su flexibilidad en trámite y garantía (Anzola, 1993).

Impacto de las MIPYMES ante la pandemia

La pandemia se dio a conocer por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en marzo de 2019, este fenómeno tuvo una repercusión importante en las MIPYMES, el autor (Pantaleón, 2020) menciona que a causa de la pandemia COVID-19, se podría identificar los efectos sobre la economía de tres maneras principales: afectando claramente a la producción, estableciendo trastornos en la cadena de suministro y en el mercado y por su impacto financiero en las empresas y los mercados financieros. Por su parte la Organización de las Naciones Unidas (ONU) menciona que el mundo se enfrenta a graves riesgos por la interrupción de sus actividades, de más de 436 millones de empresas (ONU, 2020).

El autor Crespo (2020) dice que las perturbaciones económicas y sociales desatadas por la pandemia de COVID-19 perjudicaron a toda la sociedad en general, y el impacto afectó tanto a la salud como a los mercados y empleo. La crisis económica llevó a la interrupción total o parcial de las actividades económicas y sacudió con gran fuerza.

Pero el impacto del COVID-19 afectó mucho más en lo que respecta al turismo, el Estado de Quintana Roo depende del turismo es decir, los hoteles los cuales en temporadas de verano tenían muchos visitantes de diferentes partes del país o del mismo estado, tal período se le conoce como temporada alta ya que generan más ingresos en los que respecta a otras estaciones del año, en consecuencia se aseguraba la generación de empleos, pero desafortunadamente la pandemia COVID-19 ocasionó una crisis económica, el estado depende del turismo y servicios recreativos, puesto que los hoteles, restaurantes y servicios enfocados a estos giros representaban el 25% del Producto Interno Bruto (IMCO Staff, 2020).

Brown (2021) menciona que entre el año 2018 y 2020 pasaron situación de extrema pobreza de 69,000 a casi 200, 000, es decir que 1 de 10 personas sufren situación de pobreza, Quintana Roo es un estado dependiente del turismo y años atrás con desastre naturales como el caso del huracán Wilma en 2005, detuvo actividades, es decir que al menos en el caso de Cancún han sufrido impactos tanto naturales, así como el problema con el COVID-19.

Como expone Vázquez (2020), el presidente del Consejo Coordinador Empresarial (CCE) y de la Cámara Nacional de Comercio, Servicios y Turismo (Canaco) Eloy Quintal Jiménez, menciona que la ciudad de Cancún, Quintana Roo tuvo un fuerte impacto a nivel económico y social debido al aumento de impuestos, pagos de derechos, el cierre de negocios, despidos, el crecimiento del ambulante y la economía subterránea.

El INEGI (2020) dio a conocer la publicación del ECOVID-IE los siguientes resultados y del estudio sobre los negocios 2020, en el que se estima el 86.6% de 1,873,564 compañías, que debido al COVID-19 han sido afectadas por 7 puntos porcentuales menos de lo que se señala en la primera publicación. Se cree que 4.9 millones de los pequeños establecimientos sobreviven y más del millón cerraron sus actividades.

Desempeño de las MIPYMES ante el COVID-19

El término de desempeño está relacionado con el cumplimiento de objetivos organizacionales, es así como se espera que las empresas logren aumentar su desempeño, es decir cumplan con sus objetivos.

Piorkowska y Stanczyk-Hugiet (2017) mencionan que las empresas y organizaciones deben afrontar los cambios para seguidamente lograr adaptarse. Con la llegada de la pandemia por COVID-19 el sector empresarial en Latinoamérica resintió los efectos obteniendo pérdidas por 30,000 a 250,000 millones de pesos (Moreno, 2020). De acuerdo con

Rigoberto David y Rosa (2021) menciona que ante la pandemia las MIPYMES tuvieron que suspender sus actividades, lo que dañó tanto en sus operaciones como en su desempeño. Así también muchas de las empresas optaron por cerrar parcialmente o total sus actividades, mientras que otras debían acoplarse antes las medidas establecidas, otro factor que afectó fue el despido de personal, así como limitarse en sus compras de materiales primas, sin embargo, algunas organizaciones han utilizado sus propios excedentes de liquidez y subsistir.

Sin embargo el autor Moreno (2020) hace mención que la Asociación de Emprendedores de México obtuvo resultados mediante una encuesta que efectuó, los resultados son preocupantes porque el 77% de las MIPYMES dejaron de operar por dos meses mientras que el 25% despidieron parte de su personal, debido a esta contingencia los microempresarios tienen el problema de poder pagar a sus empleados, así como préstamos y créditos, aunado a ello se tiene el problema del pago de los impuestos, por otra parte el problema al cobrarle a sus clientes, ya que muchas MIPYMES están en dificultades en cuanto a sus ingresos.

Sin embargo, las MIPYMES tuvieron que recurrir a ciertos apoyos para poder seguir operando para evitar el cierre y pérdida de empleo, en el caso de los restaurantes, se dedicaron a ofrecer servicio de comida para llevar, evitando con ello la presencia de sus clientes para prevenir contagios por COVID-19; entre otros de los esfuerzos se encuentra la parte de la seguridad y limpieza, se toma en consideración el caso particular de los restaurantes que innovaron, ya que en vista de la situación buscaron cambios en la forma de preparación de alimentos y bebidas, con estricto protocolo sanitario.

Financiamiento de empresas

Para el caso de pequeñas y medianas empresas son necesarias en el desarrollo social porque son las que mayor empleo generan, según datos de INEGI (2015) el 99.8 por ciento de las unidades económicas en México, contribuyen el 52% del Producto Interno Bruto (PIB) y conciben el 71% del empleo. Sin embargo, la falta de financiamiento es el principal problema que enfrentan las pequeñas y medianas, no crecen por falta de crédito y algunas no aceptan un crédito bancario debido al alto costo.

Las pequeñas y medianas empresas inscritas en el 2015 (INEGI) fue de 16,754 empresas medianas, 79,367 empresas pequeñas y 3,952,422 empresas micro de las cuales el 39.8%, 27.8% y 10.6% obtuvieron financiamiento mediante el sistema financiero tradicional, mientras que el 60.2% de empresas medianas, el 72.20% de empresas pequeñas y el 89.40% no obtuvo con ningún tipo de financiamiento. Con crédito de proveedores se financiaron 40.3% de las empresas medianas, 38.1% de las empresas pequeñas, y 12.4% de las microempresas. Así mismo se utilizan los recursos propios como alternativa de financiamiento por lo que el 16.7% de las empresas medianas, 24.3% de las empresas pequeñas y el 28.7% de las microempresas utilizaron esta opción (Banco de México, 2015).

Lira (2020) menciona que, en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo ante la pandemia COVID-19 el Gobierno de Quintana Roo ha lanzado Programas de Financiamiento especiales y créditos dirigidos a distintas personas y compañías, las cuales son acciones que permitirán a los ciudadanos impulsar sus negocios y emprendimientos. El financiamiento, es una acción que permite poder recibir apoyo económico. Cuando se decide emprender se debe conocer las áreas de oportunidad como son el financiamiento, para poder subsistir. Lo que se pretende con el financiamiento es encontrar una solución para la subsistencia de las MIPYMES que fueron afectadas por COVID-19 como lo describe Herrera (2020) especialista en mercados financieros en el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las MIPYMES componen la mayor parte del sistema productivo de América Latina y el Caribe. Para adquirir el financiamiento tanto para micro, pequeña y medianas empresas se realiza un análisis de los datos sobre la situación ante la pandemia del COVID-19, así como se debe mantener en cuenta la liquidez y la calidad del crédito dentro de sus sistemas financieros.

Conclusiones

Dentro de los aspectos generales y contexto de estudio, los resultados arrojan que la mayoría de los encuestados son microempresas en un 80% y pequeñas empresas las restantes, de los cuales el 64% está en el sector de comercio, el 28% en servicio y un 9% en manufactura. El contexto social y económico durante y después de la pandemia, diversos establecimientos se tuvieron que acoplar a cambios e implementar estrategias para su supervivencia, según la encuesta el 78% no presentó dificultad económica, pero el 23% de las empresas si resintió los efectos, viéndose obligados el 21% de ellas a cerrar durante un mes y el 34% más de 4 meses, en comparación con el 45% de los negocios que sí se mantuvieron laborando por ser de primera necesidad.

Por otra parte, se identifica que, entre las estrategias para poder cubrir los gastos básicos y la plantilla laboral, el 50% solicitó un préstamo a pequeñas empresas o particulares y el 10% a Bancos, mientras que el 40% no solicitó préstamos; en vista de ello, muchas de las empresas aun con el apoyo económico tuvieron la necesidad de despedir personal, y solo el 50% evitó tomar esa decisión, pero teniendo que disminuir los salarios.

Figura 1. Egresos con mayor impacto financiero a causa de la pandemia COVID-19.



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se pudo determinar que el 40% de las empresas encuestadas si solicitó y obtuvo algún apoyo financiero, mientras que el 60% no lo solicitó; dentro de los motivos por los que no lo hicieron el 34% menciona que las solicitudes de crédito fueron rechazadas y desistieron de volverlo a intentar, en cuanto al 23% considera que los créditos son muy caros, el otro 22% mantiene un distinto medio de financiamiento, y el 10% no necesita solicitar algún crédito y por último el 11% no confían en los bancos. Como resultado de la pandemia el mayor impacto financiero en las empresas fue en los salarios con un 40%, el 30% fue en pago de préstamos, el 20% pago de bienes y servicios y el 10% pago de renta como se muestra en la Figura 1. Paralelamente a pesar de los factores que impidieron la permanencia o crecimiento de los negocios durante la pandemia existen otros factores determinantes que constantemente las empresas enfrentan y se ven reflejados en la Figura 2.

Figura 2. Factores que impiden la permanencia de los negocios.



Fuente: Elaboración propia.

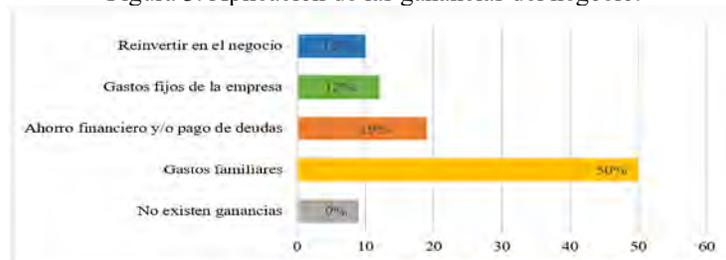
De acuerdo con los factores que afectan el crecimiento de las empresas se observó que el 60% es debido a la situación económica, el 20% por competencia intensa y el otro 20% por inseguridad y criminalidad. Con respecto a la competencia empresarial se sabe que representa un mecanismo para detectar oportunidades, atraer nuevo público y realizar colaboraciones u emprender en nuevos mercados, sin embargo, en el estudio realizado el 50% menciona que no realiza nada para generar competencia, mientras que el 30% realiza algunas mejoras y, por último, el 20% actúa para estar siempre delante de la competencia. En cuanto a las estrategias depende del giro que se encuentre el negocio, algunos establecimientos lograron ver lo negativo en algo positivo ante diversas circunstancias, es decir obtuvieron ventajas, entre ellas el 35% menciona que nunca, el 25% casi nunca, el 15% algunas veces, el 15% frecuentemente, y por último el 10% siempre.

Igualmente se detectó que más del 60% maneja su negocio de manera tradicional, el 30% con experiencia acumulada y el 10% innovando; por lo que se analiza que en su mayoría las empresas de modelo tradicional a pesar de ser rentables cargan con una fuerte responsabilidad en la gestión de los gastos que hay que cubrir, y que en muchas ocasiones

representa una limitante en comparación con aquellas que implementan innovación o se encuentran vinculadas al comercio electrónico ya que tienen costos operativos más bajos y acceso a un mercado más amplio.

Las empresas también necesitan herramientas que generen información y les permitan administrar y destinar adecuadamente sus recursos financieros, tomar decisiones o hasta para hacer frente a posibles cambios, en este sentido la planificación y la elaboración de presupuestos permite lograr esos objetivos, sin embargo, se determinó que el 45% de los negocios encuestados nunca ha realizado una planeación de presupuestos, el 25% casi nunca, el otro 15% algunas veces y solo el 15% lo hace frecuentemente. Por lo que muchos de los establecimientos también afirman que las ganancias en mayor frecuencia son destinadas para gastos familiares y una reducida parte al crecimiento de la empresa como se muestra en la Figura 3. En cuanto a los resultados se deduce que lograron subsistir principalmente los pequeños establecimientos, debido a que la mayoría son del giro de comercio al por menor, como son las tiendas de abarrotes, quienes ofertan productos de primera necesidad.

Figura 3. Aplicación de las ganancias del negocio.



Fuente: Elaboración propia.

Estas microempresas que lograron subsistir a pesar de que sus ventas bajaron, tuvieron que implementar estrategias para brindar servicios con horarios limitados y personal y acceso a usuarios restringidos dentro de las instalaciones, lo cual permitió mantener ingresos para solventar gastos básicos evitando la necesidad de solicitar algún crédito o apoyo financiero.

En lo que respecta a los establecimientos del giro restaurantero, para subsanar sus afectaciones se apoyaron en la oferta del servicio a domicilio y el uso las redes sociales para promocionarse o atender a su clientela. Si bien muchos son los factores que afectan en los negocios, ya sea por no saber llevar una correcta planificación, o por la pandemia que hasta el momento se tienen grandes repercusiones; en algunos casos las empresas recurren a solicitar algún crédito en el banco, sin embargo, los dueños prefieren evitar el endeudamiento y optan por buscar otras alternativas de financiamiento, como el endeudamiento informal a través de créditos a terceros.

Algunos establecimientos encuestados tuvieron bajas de personal, por ejemplo, en las ferreterías y restaurantes debido a que preferían menos personal para evitar el pago de los sueldos y destinar el recurso económico en otros gastos. Cada uno de los negocios estudiados lograron permanecer, y hasta el momento continúan mejorando y adaptándose, apoyados en las herramientas tecnológicas.

Referencias bibliográficas

- Anzola, S. (1993). *Administración de pequeñas empresas*. México: Mc Graw Hill.
- Arteaga, G. (2020, octubre 1). Enfoque cuantitativo: métodos, fortalezas y debilidades. *TestSiteForMe*. <https://www.testsiteforme.com/enfoque-cuantitativo/>
- Brown, C. (2021). Quintana Roo: el paraíso frente a la pandemia. <https://mexicocomovamos.mx/nexos/roo-mcv/2021/08/quintana-roo-el-paraiso-frente-a-la-pandemia/>
- Chiavenato, I. (2005). *Administración de Recursos Humanos*. Mc Graw Hill. <https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/f37a438c7c5cd9b3e4cd837c3168cbc6.pdf>
- Crespo, A. A. (Diciembre de 2020). *Secretaria de Salud*. <https://salud.qroo.gob.mx/revista/index.php/component/content/article?id=129>
- de México, B. (2015). Reporte sobre las condiciones de competencia en el otorgamiento de crédito a las pequeñas y medianas empresas (PYME). México. <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-condiciones-de-competencia-enl>
- Denegri de Dios, J. L. (2018). Delito y lugar: análisis exploratorio del robo a microempresas. *Ud y la geomática*, 9.

- Dzul Escamilla, M. (2021). Aplicación básica de los métodos científicos. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf
- García, A. (2020). *5 gráficos sobre el impacto del coronavirus en el mercado laboral*. <https://www.eleconomista.com.mx/economia/5-graficos-sobre-el-impacto-del-coronavirus-en-el-mercado-laboral-20200816-0010.html>
- Herrera, D. (Mayo de 2020). Instrumentos de financiamiento para las micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina y el Caribe durante el Covid-19. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Instrumentos-de-financiamiento-para-las-micro-pequenas-y-medianas-empresas-en-America-Latina-y-el-Caribe-durante-el-Covid-19.pdf>
- IMCO Staff. (25 de 03 de 2020). Centro de investigación en política pública. Impacto económico en los estados del sector turístico. <https://imco.org.mx/impacto-economico-en-los-estados-del-sector-turistico/>
- INEGI (2015) Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) - Encuestas en Establecimientos. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/establecimientos/otras/ena-proce/default.aspx>
- INEGI. (02 de Diciembre de 2020). COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 617/20. https://inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/ECOVIED-IE_DEMOGNEG.pdf
- INEGI. (2010). Resumen de los resultados de los censos económicos 2009. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825003390>
- INEGI. (2012). Encuestas en Establecimientos. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/enve/2012/>
- Lira, A. (10 de mayo de 2020). Conoce y obtén los Financiamientos y Créditos del Gobierno de Quintana Roo. <https://quintafuerza.mx/quintana-roo/conoce-y-obten-los-financiamientos-y-creditos-del-gobierno-de-quintana-roo/>
- Moreno, M. M. (12 de junio de 2020). El efecto COVID-19 en las pymes. <https://expansion.mx/opinion/2020/06/12/el-efecto-covid-19-en-las-pymes>
- Navaro, K. (2018). ¿Qué son las microempresas de subsistencia? <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/economia/20457-uabc-feyri-microempresa-subsistencia>
- ONU, N. (29 de abril de 2020). La crisis laboral ocasionada por el coronavirus puede alcanzar a la mitad de los trabajadores. <https://news.un.org/es/story/2020/04/1473582>
- Ortega, A. (2002). Introducción a las finanzas (primera edición). México: Mc Grall Hill.
- Pantaleón, I. (10 de abril de 2020). Así es el reto de las empresas durante la pandemia del Covid-19. <https://www.forbes.com.mx/negocios-coronavirus-retos-latam-pandemia/>
- Paredes & Peña (2016). La Micro y Pequeña Empresa: Un análisis desde la perspectiva económicoadministrativa. https://www.ecorfan.org/actas/A_1/29.pdf
- Pérez & Merino (2009). Definición de microempresa. <https://definicion.de/micro-empresa/>
- Pérez, J. & Gardey, A. (2008). Definición de Empresa. <https://definicion.de/empresa/>
- Piorkowska, K. y.-H. (237-253). Evolutionary economics, organizational evolution and behavioural approach: In search of commonalities. *International Journal of Economics and Business Research*, 14(3/4), <https://doi.org/10.1504/IJEER.2017.087489>.
- Rigoberto García Contreras, D. V. (2021). Selección organizacional: resiliencia y desempeño de las pymes en la era de la COVID-19. *Estudios Gerenciales*, 13.
- Robles A. C., Bocanegra M. L., y Ordorica L. N. (2015), Agenda para estudio de la problemática de las Mipymes Mexicanas, *Revista Faccea*, 5 (2), pg. 107-117. <http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/faccea/article/view/462/454>
- Secretaría de Economía de México (2010). Pequeñas Empresas. <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/empresas/pequena-empresa>
- Thompson, I. (2006). Definición de Empresa. <https://www.promonegocios.net/mercadotecnia/empresa-definicion-concepto.html>
- Vázquez, J. (2020). Alertan sobre estancamiento económico en Chetumal. <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Alertan-sobre-estancamiento-economico-en-Chetumal-20200225-0159.html>
- Westreicher, G. (2018). Economía de subsistencia. <https://economipedia.com/definiciones/economia-de-subsistencia.html>

LA GESTIÓN DE LAS EMOCIONES EN EL EMPRENDIMIENTO

Edgar Alfonso Sansores Guerrero¹, Juana Edith Navarrete Marneou²,
Robert Beltrán López³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 10/04/2023 Aceptado: 20/06/2023 Publicado: 30/06/2023

Resumen.- La presente investigación tiene como objetivo determinar, desde la perspectiva administrativa, la relación entre la Inteligencia Emocional y el espíritu emprendedor en los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto del Estado de Quintana Roo, México. De acuerdo a los estudios realizados sobre el tema, los principales autores citados son Goleman (1995), Mayer y Salovey (1995), Caruso y Salovey (2004), Goleman y Boyatzis (2017), Yildirim, Trout y Hartzell (2019), y Bradberry y Greaves, (2009). La metodología utilizada es de tipo causal. Por ello, se utiliza como herramienta de análisis la regresión múltiple, la cual permite determinar dicha relación. Para la recolección de información, se aplicó un cuestionario estructurado a 223 propietarias de empresas, quienes fueron las informantes clave. Los resultados obtenidos muestran que existe una relación directa entre la decisión de emprender y la IEM de las mujeres, en sus cuatro dimensiones (autoevaluación, valoración de los demás, regulación y autogestión). Por tanto, se concluye que la IEM de las empresarias representa un adecuado indicador para explicar la decisión de emprender iniciativas de negocios.

Palabras Clave: Emprendimiento, gestión, emociones, decisiones.

THE MANAGEMENT OF EMOTIONS IN ENTREPRENEURSHIP

Abstract.- The objective of this research is to determine, from an administrative perspective, the relationship between Emotional Intelligence and the entrepreneurial spirit in Othón P. Blanco and Felipe Carrillo Puerto in the State of Quintana Roo, Mexico. According to the specialized literature on the subject, the main authors cited are Goleman (1995), Mayer and Salovey (1995), Caruso and Salovey (2004), Goleman and Boyatzis (2017), Yildirim, Trout and Hartzell (2019), and Bradberry and Greaves (2009). The methodology used is causal. For this reason, multiple regression is used as an analysis tool, which allows us to determine this relationship. To collect information, a structured questionnaire was applied to 223 business owners, who were the key informants. The results obtained show that there is a direct relationship between the decision to undertake and the IEM of women, in its four dimensions (self-assessment, assessment of others, regulation and self-management). Therefore, it is concluded that the IEM of businesswomen represents an adequate indicator to explain the decision to undertake business initiatives.

Keywords: Entrepreneurship, management, emotions, decision making.

Introducción

Desde la primera década del siglo XXI surgió un interés, tanto gerencial como académico, por el estudio de las capacidades y habilidades de los seres humanos para comprender y gestionar sus emociones. Si bien, estas son cruciales en el proceso de adaptación y sobrevivencia de los individuos; su trascendencia en la vida cotidiana va más allá de una función natural, ya que las emociones son las reacciones a las circunstancias del entorno y se encuentran integradas por los pensamientos, sentimientos y acciones. Por tanto, estas pueden incidir en el desarrollo profesional de los individuos y condicionar su desempeño.

En ese sentido, la incertidumbre, volatilidad e inestabilidad del entorno empresarial, provocada por la contingencia sanitaria originada en 2019, demanda que los procesos cognitivos de los individuos se orienten al control de las emociones para desarrollar en forma eficiente cualquier actividad profesional, como el emprendimiento. Así, las circunstancias medioambientales han potencializado a la Inteligencia Emocional (IEM) como un atributo indispensable

¹Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. <https://orcid.org/0000-0002-4952-2737> edsan@uqroo.edu.mx (Autor correspondiente).

²Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. <https://orcid.org/0000-0002-0168-6599> emarneou@uqroo.edu.mx

³Profesor Tiempo Completo. Tecnológico Nacional de México campus IT de Chetumal. <https://orcid.org/0000-0001-5667-8732> robert.bl@chetumal.tecnm.mx

para que los emprendedores, ante la incertidumbre, identifiquen oportunidades de negocio, asuman riesgos, agreguen valor a sus iniciativas y/o mejoren el desempeño económico de sus negocios.

Adicionalmente, el desarrollo de las habilidades de la IEM permite a los individuos afrontar los desafíos que limitan su crecimiento y/o condicionan su sobrevivencia (Oriarewo, *et al.*, 2019; Miao, *et al.*, 2018; Madar, *et al.*, 2019; Ingram, *et al.*, 2019). Por lo cual, el autocontrol, la alta autoestima, el compromiso, la integridad, el asertividad, la adaptabilidad ante los cambios y la empatía se han convertido en algunas de las principales competencias que deben tener aquellas personas que decidan emprender un negocio y trascender.

Si bien, no existe un consenso universal sobre el impacto de la IEM y el emprendimiento, debido al impacto económico que ha traído la pandemia por COVID-19, las afectaciones en los sistemas de salud pública y la necesidad de la resiliencia individual han puesto sobre la agenda el estudio de la IEM como factor determinante en el desempeño de los emprendedores.

Ante ello, para la formulación de programas de emprendimiento pertinentes a las condiciones actuales del entorno resulta necesario analizar, desde la perspectiva gerencial (Management), el vínculo entre la gestión de las emociones y la construcción de las relaciones enfocadas al desarrollo de nuevos negocios.

Por lo anterior expuesto, el presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar la relación entre el emprendimiento femenino y la Inteligencia Emocional en los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto del Estado de Quintana Roo, México.

Asimismo, este documento pretende contribuir a la generación de nuevo conocimiento, bajo el contexto mexicano, entorno a la IEM y el emprendimiento. En ese sentido, cabe señalar que actualmente el conocimiento de dicho fenómeno en la realidad mexicana resulta escaso.

Marco teórico

Para abordar el estudio de la relación entre la Inteligencia Emocional (IEM) y el emprendimiento de negocios resulta relevante, dada la ontogénesis de los seres humanos, reflexionar entorno a las características y elemento de la IEM (Piaget, 1979; Ronquillo, 1985; Caruso y Salovey, 2004; Goleman y Boyatzis, 2017).

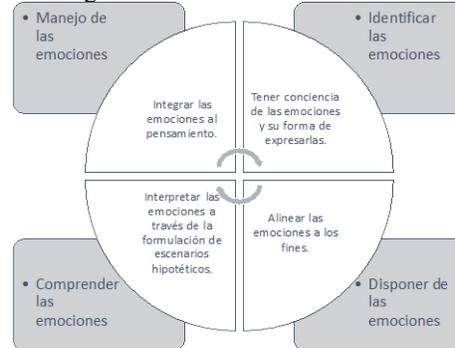
En ese sentido, tradicionalmente, la IEM ha sido definida como el conjunto de habilidades sociales que poseen los individuos para monitorear, controlar y diferenciar sus sentimientos en relación a sus emociones y a los sentimientos de los demás; con el propósito de regular el pensamiento y la acción, es decir, la capacidad innata de los individuos para interpretar y comprender las emociones propias y ajenas (Goleman, 1995; Mayer y Salovey, 1995; Payne, 1986; Caruso y Salovey, 2004; Goleman y Boyatzis, 2017).

Por consiguiente, la IEM permite regular las emociones y afrontar eficazmente ciertas situaciones ya que no todas las personas manejan sus emociones con éxito (Goleman, 1995; Basha, 2019). En otras palabras, la IEM considera cualidades como optimismo, control y carácter moral (Goleman, 2015).

Por tanto, se encuentra vinculada a la capacidad para comprenderse a sí mismo y a los demás, comunicarse con otras personas y adaptarse uno mismo con su entorno. De manera que la información percibida se procesa cognitivamente mediante las emociones (Oriarewo *et al.*, 2019).

Así, la IEM combina la lógica con los sentimientos, las emociones con la inteligencia y la intuición con el razonamiento (Kanesan y Fauzan, 2019; Shaffer, 2020; Goleman, 1995; Mayer y Salovey, 1995; Payne, 1986; Caruso y Salovey, 2004; Goleman y Boyatzis, 2017); entrelazándose a través de cuatro habilidades que inciden en la interacción social y el vínculo afectivo entre los individuos (Figura 1).

Figura 1. Habilidades de la IEM.



Nota. Adaptado de Goleman (1995).

Estas cuatro habilidades se encuentran integradas en dos competencias básicas: la personal (identificar y disponer de las emociones) y la social (comprender y manejar las emociones). La habilidad para estar consciente de las emociones y manejar el comportamiento representa la principal competencia personal (Bradberry y Greaves, 2009).

Por su parte, la competencia social se compone de la conciencia social y habilidades de gestión de relaciones, es decir, la capacidad de individuo para comprender los estados de ánimo, comportamiento y motivos para mejorar la calidad de las relaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Competencias de la IEM.

Enfoque	Competencia Personal (Autoconciencia)	Competencia Social (Conciencia Social)
Identificación	Emocional Autoevaluación Precisa Autoconfianza	Empatía Orientación al Servicio Conciencia Organizacional
Precepto	Autogestión Confianza Conciencia	Comunicación Asertiva Gestión de Conflictos Trabajo en Equipo

Nota. Adaptado de Goleman (2001).

Para Mayer, Caruso y Salovey (2016) las emociones transmiten información que muestra la forma en cómo se percibe el mundo. Además, los sentimientos inciden en la forma de pensar, interactuar y actuar de los individuos para resolver los problemas que enfrenta. Estos subyacen en el subconsciente de las personas y se exteriorizan mediante las experiencias vividas. Por tanto, el manejo de las emociones permite a los seres humanos estar motivados, transmitir calma a pesar de los obstáculos y tolerar la frustración ante resultados no esperados (Kanesan y Fauzan, 2019; Shaffer, 2020).

Así, la IEM asume que la inteligencia no es producto de las capacidades innatas, sino, que, por el contrario, durante la existencia de los seres humanos el cerebro aprende de cada situación vivida y transforma las emociones en sentimientos (Goleman, 1995; Goleman y Boyatzis, 2017; Oriarewo, et al., 2019). Partiendo de lo anterior, la Figura 2 muestra las cuatro dimensiones, propuestas por Wong y Law (2002), para explicar la IEM.

Figura 2. Dimensiones de la IEM.



Nota. Adaptado de Wong y Law (2002).

La primera dimensión analiza los procesos cognitivos y la capacidad del individuo para evaluar sus emociones más profundas y expresarlas de forma natural. La segunda, se orienta en la competencia de los seres humanos para interpretar las emociones de quienes lo rodean.

En la tercera, se examina el control de las emociones que los individuos llevan a cabo para su recuperación de la angustia psicológica. La última, se centra en las capacidades personales para alinear sus emociones a sus objetivos (Hodzic *et al*, 2018; Hassan y Omar, 2016; Wong y Law, 2002).

Si bien, las habilidades de la IEM son requeridas para tener un adecuado desempeño profesional o en cualquier otro aspecto de la vida; en los individuos que deciden emprender un negocio resulta indispensable potencializar y desarrollar dichas habilidades dada su necesidad de gestionar sus interacciones sociales con otros agentes económicos (clientes, inversionistas, funcionarios públicos, proveedores, entre otros).

Algunos estudios (Hamidianpour *et al*, 2015; Awad y Ali, 2012; Suliman y AlShaikh, 2007; Oriarewo *et al*, 2019; Miao *et al*, 2018; Madar *et al*, 2019; Ingram *et al*, 2019; Goleman, 1995; Mayer y Salovey, 1995; Payne, 1986; Caruso y Salovey, 2004; Goleman y Boyatzis, 2017) han demostrado que la IEM tiene una relación directa y positiva con el desarrollo del espíritu emprendedor, ya que forma parte de sus características y habilidades personales.

Desde la Economía y el Management, el emprendedurismo ha sido concebido como un proceso de creación de valor económico basado en la identificación de una oportunidad de negocio y la propensión para asumir riesgos, es decir, se destaca la capacidad del individuo para aprovechar la demanda insatisfecha a través de una combinación innovadora de recursos en un contexto determinado (Schumpeter, 1997; Landström, 2005; Knight, 2017; Drucker, 2014).

Figura 3. Proceso para Agregar Valor.



Nota. Adaptado de Drucker (2014).

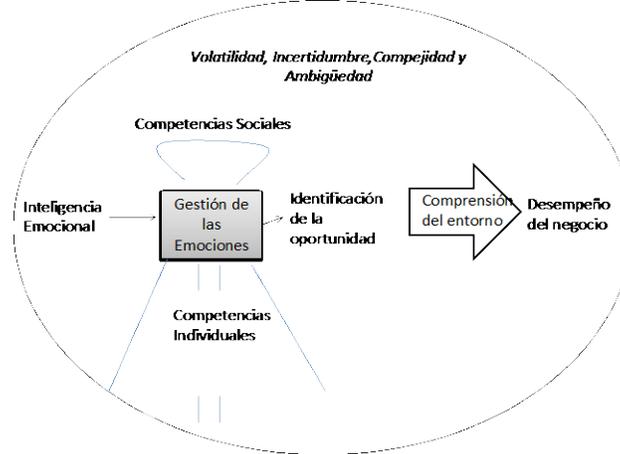
En consecuencia, la IEM representa una capacidad clave para el desarrollo del espíritu emprendedor, ya que le permite al empresario comunicarse en forma asertiva con sus empleados para transmitir su visión y potencializar sus habilidades de innovación. Además de reconocer la demanda potencial en determinado mercado mediante la interpretación del comportamiento de los demás.

Por tanto, el desempeño de los emprendedores en la gestión y desarrollo de sus iniciativas se encuentran vinculadas con sus capacidades cognitivas y sociales (Miao *et al*, 2018; Madar, *et al*, 2019; Ingram *et al*, 2019). De manera que su convicción personal de generar valor agregado e innovar económicamente mediante la combinación óptima de recursos, se encuentran estrechamente relacionados con sus actitudes, aptitudes, competencias, aprendizaje y la construcción de redes sociales.

Por consiguiente, la IEM permite al emprendedor regular sus emociones para afrontar pacientemente un entorno incierto, racionalizar su toma de decisiones, interpretar los sentimientos de las personas con las que interactúa, fortalecer sus procesos cognitivos para comprender las oportunidades que ofrece el mercado, aprovechar las capacidades de sus empleados y crear redes sociales de cooperación con otros agentes económicos (Hamidianpour *et al*, 2015; Awad y Ali, 2012; Suliman y AlShaikh, 2007; Oriarewo *et al*, 2019; Miao *et al*, 2018; Madar *et al*, 2019; Ingram, *et al*, 2019).

Considerando lo anterior expuesto, en la presente investigación se utiliza como marco analítico el modelo propuesto por Goleman (1995), Caruso y Salovey (2004) y Wong y Law (2002), justificándose en las capacidades cognitivas y sociales de los emprendedores. Diversos estudios (Oriarewo *et al*, 2019; Miao, *et al*, 2018; Madar, *et al*, 2019), han usado este enfoque, en virtud de sus atributos como su consistencia interna y validez (Figura 4).

Figura 4. Marco Analítico.



Nota. Elaboración propia con base a Goleman (1995), Caruso y Salovey (2004) y Wong y Law (2002).

Materiales y métodos

Para analizar la relación entre el desempeño económico de la empresa y la Inteligencia Emocional de sus propietarias se aplicó un cuestionario a una muestra de 223 emprendedoras establecidas en los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto en el estado de Quintana Roo (Tabla 2).

Tabla 2. Muestra.

Municipio	Número de personas
Felipe Carrillo Puerto	44
Othón P. Blanco	179

Nota. Elaboración propia con los resultados obtenidos.

El cuestionario se encuentra integrado de 70 reactivos agrupados en tres secciones. En la primera, se hace referencia a la información personal de cada emprendedora (edad, escolaridad, estado civil, número de hijos, entre otros). En la segunda, se recopilan las intenciones, motivaciones, intereses y actitudes de estas, para la búsqueda de iniciativas encaminadas al logro personal.

La última hace referencia a los componentes de la inteligencia emocional (reconocimiento, interpretación y usos de las emociones propias y ajenas). Por tanto, para identificar dicha relación se considera como variable dependiente: la decisión de emprender un negocio medido a través de una escala de linkert de siete valores (Hulthén *et al*, 2016; Rathnayaka, 2019, Yıldırım, Trout y Hartzell, 2019). Como variables independientes: sensibilidad, autocontrol, empatía, habilidades sociales y conciencia de sí mismo (Tabla 3).

Tabla 3. Variables Independientes.

Variable	Dimensión	Escala	Items
Conciencia (Autoevaluación)	Capacidad para comprender los sentimientos propios y ajenos.	Linkert 5 puntos	8 reactivos.

Autocontrol (Regulación)	Capacidad para manejar las emociones evitando Juicios de valor y precogniciones para la toma de decisiones.	Linkert 5 puntos	8 reactivos.
Sensibilidad (Autogestión)	Perspectivas de vida, motivaciones y razones intrínsecas para el emprendimiento.	Linkert 5 puntos	8 reactivos.
Empatía (Valoración de los demás).	Capacidad para comprender el comportamiento de los demás.	Linkert 5 puntos	8 reactivos.
Habilidades sociales (Autogestión)	Capacidad para comprender el comportamiento de los demás.	Linkert 5 puntos	8 reactivos.

Nota. Elaboración propia con base a Goleman (2001) y Wong y Law (2002).

Asimismo, para la estimación de la confiabilidad por consistencia interna se realiza la prueba de Alfa de Cronbach (α). Esta está relacionada con la varianza de los factores subyacentes al conjunto de partes de la prueba, siendo tal que la varianza del factor general es menor o igual al α , y este es menor o igual a la varianza de los factores comunes del conjunto (Cervantes, 2005).

El Alfa de Cronbach (α) estimado fue de 0.7956, lo cual se considera un valor aceptable, es decir, se encuentra dentro de los parámetros esperados por este índice. De acuerdo con Hair, Anderson, Tatham y Black (1999), los ítems son consistentes entre sí y por tanto representativos del universo posible de ítems que podrían medir ese constructo.

Primero se realiza un análisis de frecuencias para identificar cada una de las dimensiones de la IEM. Después se estima un índice complejo sin ponderar (media aritmética simple) para cada una de las cinco variables independientes. Por último, se examina la relación entre las variables independientes y dependiente a través de una regresión múltiple. Este modelo se sustenta en la propuesta realizada por Basha (2019) y Ngah et al. (2016) y se representa matemáticamente como:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon_i$$

Donde:

Y= Intención de emprender.

X_1 = Conciencia de si mismo.

X_2 = Autocontrol.

X_3 = Sensibilidad.

X_4 = Empatía.

X_5 = Habilidades sociales.

ε_i = Representa un componente aleatorio (los residuos) que recoge todo lo que las variables independientes no son capaces de explicar.

Cabe mencionar que este modelo cumple con los supuestos de linealidad, independencia, normalidad, homocedasticidad y no-colinealidad.

Resultados

Por lo que respecta al reconocimiento de sus emociones, el 91% de las encuestadas afirmó que frecuentemente las identifica, tienen pleno conocimiento de sus estados de ánimo, consideran que comprenden sus sentimientos y lograr percibir e interpretar las emociones de los demás, así como su impacto en sus emociones. El resto de las emprendedoras señaló que, generalmente, desconocen la influencia de los sentimientos de los demás en las emociones propias.

En lo referente a la valoración de los demás, el 72% declaró que conoce sus sentimientos hacia los demás y que percibe las emociones ajenas, así como las reacciones, a sus acciones, de las personas que la rodean. En cuanto al control de

sus emociones, el 91% de las mujeres maneja sus sentimientos para que no influya en la toma de decisiones. Así, sus estados de ánimo no inciden en su comportamiento hacia los demás agentes económicos.

El 59% cuenta con un antecedente de familiares consanguíneos emprendedores en la generación que les precede. Aunque, el antecedente emprendedor no condiciona la preparación o formación profesional de las mujeres, se identificó que el 67% de las mujeres sin formación profesional carecen de antecedentes empresariales, mientras que el resto cuenta con al menos un familiar. El 62% de las mujeres encuestadas con primaria, tienen familiares emprendedores. El 54% de las mujeres encuestadas con secundaria, tienen familiares emprendedores. El 65% de las mujeres encuestadas con preparatoria, tienen familiares emprendedores.

El 62% de las mujeres encuestadas con carrera técnica, no tienen familiares emprendedores. El 64% de las chetumaleñas encuestadas con licenciatura, tienen familiares emprendedores. El 74% de las personas con posgrado, tienen familiares emprendedores.

La autogestión de las emociones ha permitido al 86% de las mujeres mejorar su relación con los proveedores y clientes. Asimismo, han logrado establecer pequeñas redes de colaboración con otros participantes en el mercado para disminuir los costos de proveeduría de insumos, acceder a más clientes, establecer vínculos con sus clientes para generar lealtad y conocer a clientes prospectos. De esta manera, el índice de la IEM de este grupo de mujeres, para cada componente, se integra en la Tabla 4:

Tabla 4. Índice de las dimensiones de IEM.

Dimensión	Media	Desviación Estándar
Autoevaluación	4.29	1.0706
Valoración de los demás	4.00	1.048
Regulación	4.06	0.991
Autogestión	4.30	0.967

Nota. Elaboración propia con base a los resultados obtenidos.

Por otra parte, los resultados de la aplicación del modelo $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon_i$, el resultado demuestra que todas las variables independientes incluidas en el análisis explican un 75.80 % de la varianza de la variable dependiente, es decir, en el 75.80% de los casos de emprendimiento analizados se encuentran relacionados de manera positiva con la IEM (Tabla 5).

Tabla 5. Resumen del modelo.

Valor de R	Nivel de significancia	Valor de F
0.7580	0.000	70.419

Nota. Elaboración propia con base a los resultados obtenidos.

Por otra parte, el estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero y, por tanto, permite decidir si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes tomadas juntas. El valor del nivel crítico Sig. = 0.000 indica que sí existe relación lineal significativa. Por lo que respecta a los coeficientes de cada una de las variables y al nivel de significancia de cada una de ellas, se observa, en la Tabla 2, que las 4 dimensiones de la IEM inciden en el desempeño de la empresa, es decir, en el incremento porcentual de sus ventas.

Tabla 2. Correlaciones.

Dimensión	Coeficiente	Sig. Cambio en F
Autoevaluación	0.159	0.001
Valoración de los demás	0.155	0.001
Regulación	0.191	0.000
Autogestión	0.700	0.000

Nota. Elaboración propia con base a los resultados obtenidos.

Por lo anterior, se identifica que existe una relación directa entre el desempeño de las empresas y la IEM de sus propietarias, en sus cuatro dimensiones (autoevaluación, valoración de los demás, regulación y autogestión).

Discusiones

La IEM representa un factor clave en el emprendimiento de nuevos negocios ya que permite la interpretación del entorno y la identificación de las necesidades de los demás, asimismo permite desarrollar una capacidad resiliente para enfrentar los obstáculos que se presentan en el ciclo de vida de las empresas. De acuerdo con los resultados obtenidos las capacidades cognitivas en el manejo de las emociones representan un activo importante para los emprendedores, esto coinciden con los obtenidos por Hulthén *et al*, 2016; Rathnayaka, 2019, Yildirim, Trout y Hartzell, 2019; quienes determinaron la influencia de la inteligencia emocional en el emprendimiento.

Considerando lo anterior, el emprendimiento presenta dos componentes principales: la técnica el conjunto de conocimientos, modelos y herramientas para presentar iniciativas emprendedoras y la gestión de emociones que dota de sentido la resiliencia de los individuos interesados en incorporarse formalmente al mercado.

Se identifica que las empresarias presentan una estabilidad emocional que les permitirá emprender una iniciativa empresarial con un futuro promisorio, sin embargo, resulta importante mencionar que se requiere de el dominio de una serie de herramientas, modelos y metodologías necesarias para tener un mejor desempeño económico y potenciar su negocio.

Por otra parte, aunque el 20% domina temas como la mercadotecnia, contabilidad, finanzas y/o derecho, esto no impide el desarrollo de sus iniciativas. Asimismo, el 69% se encuentra preparada sobre la técnica de ventas y el 43% cuenta con los conocimientos suficientes para la administración de su negocio (conforme a la información proporcionada) y más del 50% curso estudios superiores y/o de posgrado. Ante esto, resulta necesario generar un programa de innovación empresarial para las mujeres emprendedoras interesadas en mejorar sus habilidades para comercializar y producir sus bienes y/o servicios, así como implementar capacitación orientada a la gestión empresarial, generación de valor agregado, administración financiera, financiamiento, desarrollo de habilidades directivas, fijación de estrategias mercadológicas y/o diferenciación. En ese sentido, existen algunos colectivos empresariales como la Asociación Mexicana de Mujeres Empresarias y las Cámaras Empresariales.

De la misma manera, es necesario hacer incapié en las habilidades, la experiencia, conocimiento e inteligencia emocional les ha permitido a las mujeres empresarias desarrollar sus empresas, sin embargo, es necesario, contar con financiamiento del sector gubernamental para fructificar su idea de negocio. Además, la capacitación de las mujeres emprendedoras puede potencializar las ideas de negocio existentes y generar una red de colaboración intraempresarial.

En cuanto a la planeación, se encuentra que el 46% de las empresarias no han llevado a cabo el diseño de su plan de negocios o su plan anual de desarrollo. Asimismo, el 50% de las empresas carecen de una estructura organizacional formal y, por ende, no cuentan, con la descripción de los puestos y funciones correspondientes, es decir, no han redactado manuales organizacionales que les permitan la asignación de tareas y responsabilidades.

Por otra parte, se puede comprobar que las mujeres empresarias poseen la inteligencia emocional necesaria para mantenerse en la gestión de sus empresas y se encuentra motivadas para enfrentar los retos futuros que les depara el contexto ya que a pesar de no contar con una formación profesional, se encuentran lo suficientemente motivadas para actuar en forma independiente. Además, las empresarias con una mayor preparación profesional, se esfuerzan para

actualizarse continuamente y ser más eficientes en la conducción de sus empresas. Por ello, su Inteligencia Emocional se encuentra directamente vinculada con su espíritu emprendedor y su voluntad de crecimiento personal.

Conclusiones

Este estudio permite comprender la relación entre la IEM de las mujeres y la decisión de emprender. Si bien, en México existen algunas aproximaciones al análisis del impacto de la IEM en el desempeño laboral de los gerentes, aún resultan escasas las investigaciones que explican la relación entre la IEM y el emprendimiento.

En ese sentido, este documento aporta elementos para la discusión del tema en el contexto mexicano. Los resultados obtenidos revelaron que las cuatro dimensiones que integran a la IAM se encuentran directamente relacionadas con el espíritu emprendedor de las mujeres participantes en el estudio.

Las emprendedoras de los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México, autogestionan sus emociones para iniciar un negocio y enfrentar la problemática (hipercompetencia, crisis económica, entre otros) que se presenta en el entorno; permitiéndoles establecer negociaciones con sus proveedores y clientes.

También se identificó que la dimensión de la IEM más compleja para las emprendedoras fue la valoración de las emociones ajenas y su afectación en las propias. Dada la ambigüedad de acción que puede representar las reacciones emocionales a diferentes incentivos, las empresarias aún encuentran dificultades para desarrollar esta competencia.

Por otra parte, es necesario mencionar que este trabajo presenta una serie de limitaciones. Primero, debido a que la IEM forma parte de un proceso cognitivo de los individuos, que se nutre de sus experiencias y es producto de su entorno pudieran existir otros factores que inciden en las decisiones de emprender de las mujeres tales como cultura, libertad económica, normas sociales, políticas públicas de fomento económico, entre otras.

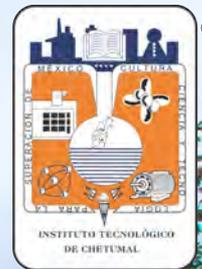
Segundo, la muestra representa a las empresarias de dos municipios del Estado de Quintana Roo, México, por lo que pudieran presentarse diferentes resultados en otras zonas geográficas del país o en otros países. Por último, en el estudio solo participaron mujeres quienes dadas las condiciones de desigualdad que enfrentan en el entorno mexicano pudieran presentar diferencias, con respecto a los hombres, en el desarrollo de la IEM.

Para finalizar, se concluye que la IEM de las empresarias representa un adecuado indicador para explicar, como primera aproximación, la decisión de emprender. Además, se recomienda que en futuros estudios de la IEM se incluyan otras variables como cultura, formación empresarial, entre otras y/o se propongan otras métricas para el desempeño académico.

Referencias bibliográficas

- Awad, M. (2012). Emotional intelligence and entrepreneurial orientation. The moderating role of organizational climate and employees' creativity. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, Volumen 14, No. 1. Inglaterra (Pp. 115-136).
- Basha, S. (2019). Emotional intelligence: the secret of successful. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, Volumen 6, No. 1. India (Pp.117-120).
- Bradberry, T. y Greaves, J. (2009). *Emotional intelligent II*. Editorial Talent Smart: Estados Unidos de América.
- Caruso, J. y Salovey, P. (2004). *The emotionally intelligent manager: How to develop and use the four key emotional skills of leadership*. Editorial John Wiley & Sons: Estados Unidos de América.
- Cervantes, V. (2005). Interpretaciones del coeficiente Alpha de Cronbach. *Avances de Medición*, Volumen 3. Colombia (Pp. 9-28).
- Drucker, P. (2014). *Innovation and entrepreneurship*. Editorial Routledge: Estados Unidos de América.
- Goleman, D. (1995). *Emotional intelligence*. Editorial Bantam: Estados Unidos de América.
- Goleman, D. (2015). *El cerebro y la inteligencia emocional: nuevos descubrimientos*. Editorial B de Books. España.
- Goleman, Daniel(2001). *Emotional intelligence: Issues in paradigm building*. Editorial: Jossey-Bass. Estados Unidos de América.
- Goleman, D. y Boyatzis, R. (2017). Emotional intelligence has 12 elements. Which do you need to work on. *Harvard Business Review*, Volumen 84, No. 2. Estados Unidos de América (Pp. 1-5).
- Hamidianpour, F., Esmailpour, M., Alizadeh, M. y Dorgoe, A. (2015). The Influence of Emotional Intelligence and Organizational Climate on Creativity and Entrepreneurial Orientation of Small to Medium-Sized Enterprises. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, Vol. 4, No. 1. República Checa (Pp. 201-225).

- Hassan, R. y Omar, S. (2016). The effect of emotional intelligence and entrepreneurial attitude on entrepreneurial intention. *Kuwait Chapter of the Arabian Journal of Business and Management Review*, Volumen 5, No. 12. Kuwait (Pp. 1-20).
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (1999). *Análisis Multivariante*. Editorial Prentice Hall: España.
- Hodzic, S., Scharfen, J., Ripoll, P., Holling, H. y Zenasni, F. (2018). How efficient are emotional intelligence trainings: A meta-analysis. *Emotion Review*, Volumen 10, No. 2. Inglaterra(P.p.138-148).
- Hulthén, H., Näslund, D., y Norman, A. (2016). Framework for measuring performance of the sales and operations planning process. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.*, Volumen 46, No. 9. Inglaterra (P.p.809-835).
- Ingram, A., Peake, O., Stewart, W., y Watson, W. (2019). Emotional intelligence and venture performance. *Journal of Small Business Management*, Volumen 57, No. 3. Estados Unidos de América (Pp. 780-800).
- Kanesan, P. y Fauzan, N. (2019). Models of emotional intelligence: A review. *Bangi Review*, Volumen 16, No. 7. India (Pp. 1-20).
- Knight, F. (2017). *Risk Uncertainty and Profit* (primera reimpression de la versión de 1921). Editorial Dover Publication: Estados Unidos de América.
- Landström, H. (2005). *Pioneers in Entrepreneurship and Small Business Research* (primera edición). Editorial Springer: Inglaterra.
- Madar, N., Teeni-Harari, T., Ickson, T.y Sela, Y. (2019). Optimism and Entrepreneurial Intentions Among Students: The Mediating Role Of Emotional Intelligence. *Journal of Entrepreneurship Education*, Volumen 22, No. 4. Israel (Pp. 1-19).
- Mayer, J., y Salovey, P. (1995). Emotional intelligence and the construction and regulation of feelings. *Applied and Preventive Psychology*. Volumen 4. Estados Unidos de América (Pp. 197-208).
- Mayer, J., Caruso, D. y Salovey, P. (2016). The ability model of emotional intelligence: Principles and updates. *Emotion review*, Volumen 8, No. 4. Estados Unidos de América (Pp. 290-300).
- Miao, C., Humphrey, R., Qian, S. y Pollack, J. (2018). *Emotional intelligence and entrepreneurial intentions: an exploratory meta-analysis*. Nueva York, Estados Unidos de América: Career Development International.
- Ngah, R., Zarina S., y Rahimah S. (2016). Comparative study of emotional intelligence and entrepreneurial orientation between Malaysian and Indonesian University students. *Procedia Economics and Finance*, Volumen 37. Inglaterra (Pp. 100-107).
- Oriarewo, G., Ofobruku, S. y Tor, Z. (2019). The implications of emotional intelligence on entrepreneurial performance: A discuss. *South Asian Journal of Social Studies and Economics*, Volumen 3, No. 1. Sudafrica (Pp. 1-13).
- Payne, W. (1986). A Study of Emotion: Developing Emotional Intelligence; Self-Integration; Relating to Fear. *Pain and Desire*. Volumen 1. Estados Unidos de América (25-38).
- Rathnayaka, C. (2019). *Measuring performance of sales support to enhance the order-to-delivery process: case: Company X*. Tesis de Posgrado. Lahti university of applied sciences. Faculty of Business and Hospitality. Management. Degree Programme in InternationalBusiness.
- Shaffer, G. (2020). *Emotional Intelligence: An Introduction*. In *Emotional Intelligence and Critical Thinking for Library Leaders*: Editorial Emerald Publishing Limited: Estados Unidos de América.
- Schumpeter, J. (1997). *Teoría del Desarrollo Económico*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México.
- Suliman, A., AlShaikh, F. 2007. Emotional intelligence at work: Links to conflict and innovation. *Jordan Employee Relations*, Volumen 29, No. 2. Emiratos Arabes Unidos (Pp. 208-220).
- Wong, C., y Law, K. (2002). The effects of leader and follower emotional intelligence on performance and attitude: An exploratory study. *The leadership quarterly*. Volumen 13, No. 3. Estados Unidos de América (Pp. 243-274).
- Yıldırım, F., Trout, I. y Hartzell, S. (2019). How Are Entrepreneurial Intentions Affected by Emotional Intelligence and Creativity? *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, Volumen 27, No. 1, Inglaterra (Pp. 59-65).



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