

Ingeniería básica y de frontera

con incidencia en
los Programas
Nacionales
Estratégicos

Compiladores:

Rocío del Carmen Vargas Castilleja

Esperanza Martínez Cano

Roberto Pichardo Ramírez

Salvador Ibarra Martínez

editorial
fontamara



**Ingeniería básica y de
frontera con incidencia
en los Programas
Nacionales Estratégicos**

Ingeniería básica y de frontera con incidencia en los Programas Nacionales Estratégicos / Rocío del Carmen Vargas Castillejas, Esperanza Martínez Cano, Roberto Pichardo Ramírez, Salvador Ibarra Martínez, compiladores.—Cd. Victoria, Tamaulipas : Universidad Autónoma de Tamaulipas; Ciudad de México : Editorial Fontamara , 2024.

137 págs. ; 17 x 23 cm.

1. Tecnología: cuestiones generales

LC: HD30.213 I5.4 2024

DEWEY: 604 TB

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Matamoros SN, Zona Centro
Ciudad Victoria, Tamaulipas C.P. 87000
D. R. © 2024

Consejo de Publicaciones UAT
Centro Universitario Victoria
Centro de Gestión del Conocimiento. Segundo Piso
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87149
Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2905 • www.uat.edu.mx
cpublicaciones@uat.edu.mx

Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT
ISBN UAT: 978-607-8888-61-0

Editorial Fontamara, S.A. de C.V.
Av. Hidalgo No. 47-B, Colonia Del Carmen
Alcaldía de Coyoacán, 04100, CDMX, México
Tels. 555659-7117 y 555659-7978
contacto@fontamara.com.mx • coedicion@fontamara.com.mx • www.fontamara.com.mx
ISBN Fontamara: 978-607-736-942-4

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuera el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento del Consejo de Publicaciones UAT.

Libro digital

Esta obra y sus capítulos fueron sometidos a una revisión de pares a doble ciego, la cual fue realizada por especialistas pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Asimismo, fueron aprobados para su publicación por el Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Comité Interno de la editorial Fontamara.

Ingeniería básica y de frontera con incidencia en los Programas Nacionales Estratégicos

Compiladores:

Rocío del Carmen Vargas Castillejas

Esperanza Martínez Cano

Roberto Pichardo Ramírez

Salvador Ibarra Martínez



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD



MVZ MC Dámaso Leonardo Anaya Alvarado
PRESIDENTE

Dr. Fernando Leal Ríos
VICEPRESIDENTE

Mtro. Eduardo García Fuentes
VOCAL

Dra. Rosa Issel Acosta González
VOCAL

CP Jesús Francisco Castillo Cedillo
VOCAL

MVZ Rogelio de Jesús Ramírez Flores
VOCAL

Comité Editorial del Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dra. Lourdes Arizpe Slogher • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Amalio Blanco** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dra. Rosalba Casas Guerrero** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Francisco Díaz Bretones** • Universidad de Granada, España | **Dr. Rolando Díaz Lowing** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Manuel Fernández Ríos** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dr. Manuel Fernández Navarro** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dra. Juana Juárez Romero** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dr. Manuel Marín Sánchez** • Universidad de Sevilla, España | **Dr. Cervando Martínez** • University of Texas at San Antonio, E.U.A. | **Dr. Darío Páez** • Universidad del País Vasco, España | **Dra. María Cristina Puga Espinosa** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Luis Arturo Rivas Tovar** • Instituto Politécnico Nacional, México | **Dr. Aroldo Rodrigues** • University of California at Fresno, E.U.A. | **Dr. José Manuel Valenzuela Arce** • Colegio de la Frontera Norte, México | **Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle** • Universidad de Santiago de Compostela, España | **Dr. Alessandro Soares da Silva** • Universidad de São Paulo, Brasil | **Dr. Akexandre Dorna** • Universidad de CAEN, Francia | **Dr. Ismael Vidales Delgado** • Universidad Regiomontana, México | **Dr. José Francisco Zúñiga García** • Universidad de Granada, España | **Dr. Bernardo Jiménez** • Universidad de Guadalajara, México | **Dr. Juan Enrique Marciano Medina** • Universidad de Puerto Rico-Humacao | **Dra. Ursula Oswald** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Arq. Carlos Mario Yori** • Universidad Nacional de Colombia | **Arq. Walter Debenedetti** • Universidad de Patrimonio, Colonia, Uruguay | **Dr. Andrés Piqueras** • Universitat Jaume I, Valencia, España | **Dra. Yolanda Troyano Rodríguez** • Universidad de Sevilla, España | **Dra. María Lucero Guzmán Jiménez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dra. Patricia González Aldea** • Universidad Carlos III de Madrid, España | **Dr. Marcelo Urra** • Revista Latinoamericana de Psicología Social | **Dr. Rubén Ardila** • Universidad Nacional de Colombia | **Dr. Jorge Gissi** • Pontificia Universidad Católica de Chile | **Dr. Julio F. Villegas †** • Universidad Diego Portales, Chile | **Ángel Bonifaz Ezeta †** • Universidad Nacional Autónoma de México

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 9

1. EVALUACIÓN ENTRE PLATAFORMAS PARA LA CONVERSIÓN DE VOZ A TEXTO 11

Adriana Montoto Gonzalez

Eduardo Álvarez Navarro

Eder Jahir González Bravo

2. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS DUNAS COSTERAS DEL SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO 21

Gabriel Arcos-Espinosa

Dora González-Turrubiates

Miranda Arcos-Pérez

3. IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS RELACIONADOS CON FACTORES MEDIOAMBIENTALES 33

Aurora Martínez-Loaiza

Elda Margarita Hernández-Rejón

Adrián Blancas-Islas

4. GESTIÓN DE RESIDUOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECOLÓGICO 47

René Tinoco Mendiola

Diana Carolina Barreda Guajardo

Juan Enrique Bermea Barrios

5. ESTIMACIÓN DE LOS FRA PARA LA SUBCUENCA RH26BA RÍO TAMESÍ

63

María Luisa Berenice Benito Díaz

Esperanza Martínez Cano

Ricardo Figueroa Pérez

6. PREDICCIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE RESISTENCIA DE UNA MEZCLA DE ASFALTO EN CALIENTE CON RAP COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO MINERAL

77

Juana Treviño Trujillo

Raúl Alejandro Morales Rivera

Luis Álvaro Zavala Guerrero

7. PRESTADOR DE SERVICIOS: HACIA LA OFERTA DE SERVICIOS A TRAVÉS DEL DISPOSITIVO MÓVIL

93

Ángel Anastasio Hernández Hernández

Salvador Wilfrido Nava Díaz

Gabriel Chavira Juárez

8. APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA PARA EL MONITOREO DE DESAZOLVE EN LA LAGUNA DEL CHAMPAYÁN EN ALTAMIRA, TAMAULIPAS

105

Susan Margarita Maldonado Robert

Héctor Manuel Sánchez García

Felipe Sosa Perez

9. MODELO INTELIGENTE DESTINADO A LA PREDICCIÓN DE LAS PREFERENCIAS DE LOS USUARIOS EN HOGARES INTELIGENTES

119

Hyasseliny Alejandra Hurtado Mora

Alejandro Humberto García Ruiz

Luis Jonás González del Ángel

INTRODUCCIÓN

La inversión internacional en ciencia y tecnología es fundamental para el desarrollo de un país y las mejoras en procesos, actividades y modelos. Tanto la investigación básica como la aplicada impactan en el crecimiento del producto interno bruto (PIB), en el aumento de la productividad de los sectores y el incremento en la calidad de vida de los ciudadanos.

Las instituciones de educación superior (IES) de México cuentan con profesores, investigadores y estudiantes de licenciatura y posgrado que buscan generar ideas innovadoras potenciando la participación entre academia, ciencia y tecnología con los sectores productivos y la sociedad. México cuenta con programas y fondos gubernamentales que apoyan el modelo educativo otorgando oportunidades para la formación integral de estudiantes con una visión totalmente orientada a las necesidades del país, con miras en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual¹ indica que:

México ocupa el tercer lugar entre las economías innovadoras en la zona de América Latina y el Caribe y bajó tres puestos en la clasificación mundial en comparación con el análisis realizado en el año 2021, obteniendo el puesto 58, todo esto reportado dentro del *Índice Mundial de Innovación 2022* (WIPO, 2022).

Este libro comunica trabajos de investigación que conjuntan los esfuerzos de estudiantes de licenciatura y posgrado con profesores e investigadores de áreas de la Facultad de Ingeniería Tampico de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), quienes con su quehacer académico buscan contribuir de forma precisa y eficiente a diferentes sectores de la sociedad en temas de computación asistiva, análisis ambientales y socioecológicos, cuestiones hidrológicas y ciencias de los materiales. Con esto, los miembros de este claustro académico buscan retribuir a la sociedad con innovación al alcance de todos.

1

EVALUACIÓN ENTRE PLATAFORMAS PARA LA CONVERSIÓN DE VOZ A TEXTO

Adriana Montoto Gonzalez^{1*}
Eduardo Álvarez Navarro¹
Eder Jahir González Bravo¹

Introducción

La interacción hombre-máquina se ha diversificado por la necesidad de adaptar contenidos que se ajusten a personas con problemas como la discapacidad, el objetivo radica en minimizar la complejidad que surge en el uso de herramientas. Dentro de los diferentes modos de simplificación de tareas se encuentra el reconocimiento de voz como nueva propuesta.

El uso de la voz o la captura del discurso resulta una buena propuesta para evitar los procedimientos táctiles, además de ofrecer una nueva experiencia al usuario, lo cual produce la simplicidad en las actividades que forman parte de la vida cotidiana de las personas. Este reconocimiento de voz está incorporado en muchas plataformas, dispositivos e interfaces.

Las nuevas formas para interactuar con los dispositivos logran una mayor eficiencia para su manipulación. Esta ayuda tecnológica impacta directamente, por ejemplo, en el mejoramiento de la vida cotidiana en las personas con algún tipo de discapacidad.

Trabajar con tecnología del reconocimiento de voz permite computacionalmente identificar y comprender las palabras habladas por una persona con apoyo de un dispositivo que logre capturar la voz de un ser humano. La interpretación del sonido posibilita la realización de una transcripción o la producción de un comando, que se convierte en una orden o un proceso sobre un elemento computacional (Sharma y Wasson, 2012).

¹Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*amontoto@uat.edu.mx

Con base en ello, se evalúan plataformas utilizadas para la conversión de voz a texto a fin de conocer cuál de ellas es la mejor opción para integrarse sobre desarrollos propios, que sirvan de apoyo a la comunicación entre un discapacitado auditivo y un hablante-oyente dentro de un área controlada que promueva la inclusión e integración del discapacitado auditivo.

La comunicación de un discapacitado auditivo difiere de la tradicional, por lo tanto, se dificulta recibir mensajes verbales. Carecer del sentido del oído hace que la interacción y comunicación en un discapacitado auditivo sea distinta a la de una persona con todos los sentidos funcionales. La comunicación se establece en dos vías mediante el habla, el oído y la vista, este último como canal de comunicación adicional.

El reconocimiento de voz permite interpretar la voz con base en un modelo que pueda favorecer el desenvolvimiento de un discapacitado auditivo dentro de un entorno controlado.

En la actualidad, las tecnologías desarrolladas por Google, Apple y Microsoft consisten en interfaces para trabajar en el reconocimiento de voz, bajo libre distribución. Es importante considerar un conjunto de factores que caracterizan a cada una de las interfaces antes de su implementación: se requiere evaluar previamente su optimización y la manera en cómo se ejecutan, verificar su desempeño local y su conectividad con la nube para poder proveer servicios.

Tras el análisis de las diversas opciones tecnológicas, se sometieron a prueba tres interfaces para determinar cuál de ellas destaca por ser la más óptima en términos de traducción y presentar el mínimo de errores.

Palabras clave: discapacidad, hablante-oyente, reconocimiento de voz, interfaces, evaluador.

Microsoft Azure

La empresa Microsoft provee a sus usuarios de algunos servicios en la nube que posibilitan los procesamientos y almacenamientos virtuales ofreciendo la integración de múltiples servicios, entre ellos, el reconocimiento de voz. Una de las plataformas que ofrece Microsoft es conocida como Azure, la cual concentra un conjunto de servicios que presenta una diversidad de soluciones computacionales, su desarrollo puede ser plasmado a través de herramientas como: .Net, C++, Java o PHP. Entre las interfaces que pueden explorarse en esta plataforma están el reconocimiento y síntesis de la voz (Passos et al., 2012).

SAPI

Asimismo, Microsoft incorpora una API de *Speech* conocida como SAPI (Interfaz de programación de aplicaciones de voz) cuya tarea principal es producir de forma automática el reconocimiento y síntesis de la voz desde la aplicación, posibilitando su acceso desde diferentes lenguajes de programación (Biblprog Windows, 2016). Cabe señalar que SAPI debe ser incorporada con ajustes en el desarrollo.

Google Cloud Speech

Por otro lado, en una iniciativa por estar a la vanguardia como parte de los dispositivos portables, Google ofrece a los desarrolladores el uso de su interfaz para implementaciones particulares, de tal forma que posibilite la captura de voz, garantizando la exclusión de sonidos que están dentro del ambiente y asegurando una mayor exactitud en el reconocimiento del habla, debido al amplio vocabulario con el que cuenta (Google Cloud, 2018).

Metodología

Las interfaces de Microsoft y Google no demandan grandes requerimientos en cuanto a *software*, *hardware* y a conectividad, se adaptan a equipamientos básicos para la realización de tareas informáticas. Una vez analizados los requisitos, se definieron las funcionalidades, el aspecto y la accesibilidad pertinente para desarrollar la herramienta de evaluación que permita representar de manera textual el discurso de una persona.

En cuanto a los aspectos de funcionalidad y de interacción, se utilizó el lenguaje de programación C#, ya que cuenta con una infraestructura apta para incorporar las tres interfaces de reconocimiento de voz que se van a evaluar.

Para lograr la conversión de voz a texto, se integraron dos interfaces de la empresa Microsoft llamadas SAPI y Azure, y otra que pertenece a Google Cloud. Asimismo, se utilizó .Net Framework para trabajar la interoperabilidad mediante sus métodos y propiedades de comunicación en el sistema operativo donde se ejecuta la aplicación. Esta tecnología incluye una biblioteca de soluciones precodificadas para incorporar en el desarrollo del evaluador.

Adicionalmente, el *hardware* de ejecución del evaluador es una computadora personal con conectividad, con sistema operativo Windows y configurada en idioma español; esto último es indispensable ya que la base de datos gramatical de las interfaces requiere la selección de este idioma para la traducción.

Particularmente, se eligió trabajar con un equipo de cómputo que ya estaba ubicado dentro del área controlada donde se llevó a cabo la experimentación, puesto

que se adapta a la ejecución del evaluador. La computadora es marca Hp modelo 280 G2 SFF Business PC con procesador Intel Core i7 a 3.90 Ghz, con capacidad de almacenamiento de 1 TB, memoria RAM de 8 GB y tarjeta de sonido integrada. El equipo de cómputo tiene una tarjeta de sonido que captura la voz del usuario hablante-oyente mediante un micrófono integrado en una diadema inalámbrica marca Logitech modelo h600 con supresión de ruido.

El evaluador, en conjunto con los componentes tecnológicos, captura, procesa y almacena el discurso, el cual es digitalizado y presentado en formato textual por cada uno de los motores de voz implementados (SAPI, Azure y Google Cloud) para la experimentación previa a la selección final de la interfaz que presente los resultados óptimos.

La incorporación de este conjunto de innovaciones tecnológicas, ha inducido a la experimentación de modelos y algoritmos que fortalecen la elaboración de aplicaciones adaptativas y de tecnología asistiva para atender la discapacidad auditiva. Los desarrollos predominantes van desde el análisis del habla hasta el seguimiento de movimiento o el reconocimiento de objetos, con el objetivo de interpretar el flujo de información que hay en el entorno (Lioulemes et al., 2016).

Además de trabajar en la planificación y desarrollo del prototipo evaluador, se prepara el espacio o entorno de los usuarios para tener una visión de quién, cómo y dónde se lleva a cabo todo el proceso para la evaluación de las tres interfaces. El salón actúa como entorno controlado, se compone de ciertas características en cuanto a infraestructura, dimensiones, elementos tecnológicos, conectividad y capacidad para albergar usuarios. Este entorno educativo está pensado para que funcione como un escenario para desarrollar una cátedra auxiliada por elementos tecnológicos que faciliten la experimentación. Trabajar directamente en el salón de clases es una buena alternativa para poner en marcha la herramienta que se propone. El área cuenta con equipamiento, sus dimensiones son de 7.40 x 8.80 m lo que representa un espacio de 64 m² aproximadamente, cuenta con 20 lugares reservados para que los usuarios tengan un lugar cómodo, y entre su mobiliario tiene un escritorio principal en donde está ubicado equipo de cómputo con acceso a Internet.

La mayoría de las funciones son realizadas por una computadora de escritorio, toda la información producida, tanto del discurso como de la interacción que se genere, se almacena en el disco del equipo de cómputo que actúa como servidor.

El grupo de experimentación está constituido por 10 participantes, 5 hombres y 5 mujeres con un promedio de edad de 23.2 años. La selección de

la población está sustentada en Nikou y Economides (2014). Al trabajar con un número reducido de personas se puede controlar fácilmente el desarrollo de las actividades y lograr mejores resultados (Stinson et al., 2017). Posteriormente, se realizan las pruebas pertinentes al reconocimiento automático de la voz (ASR), la evaluación se basó en un grupo de 10 pares del tipo hablante-oyente. Cada participante utilizó el prototipo con la intención de producir texto derivado de la voz que fueron ingresando y para ello se utilizó la frase: “Para imprimir por pantalla, se usa la clase *System*, el atributo *out* y el método *println* o *print*”. Dicha frase forma parte de los contenidos de la asignatura fundamentos de programación, la razón de establecer esta frase es porque refleja cómo realizar una instrucción en la programación y porque contiene palabras en español e inglés.

Al someter dicha frase a evaluación se realiza una comparativa y se constata cuál de las tres interfaces es capaz de administrar el audio que se ingresa, aplicar una buena filtración de ruidos y determinar qué tan completa es la base de datos gramatical con la que cuenta, al punto de verificar si tiene suficientes palabras en español, si evalúa sinónimos y anglicismos.

En la literatura se identificó que toda aplicación asistiva debe cumplir con determinados factores a fin de asegurar una mejor adopción por parte de los usuarios objetivo.

Antes de reunir a los participantes se configura la hoja de registro de forma manual, esto permitirá complementar información con los datos que arroje la aplicación, entre los campos que conforman el registro están los datos de cada usuario, los decibeles, el número de palabras reconocidas y el texto producido por cada motor.

Ya establecidos todos los elementos del entorno y con el evaluador ya implementado, se le coloca al primer participante la diadema inalámbrica Logitech, se registra la frase “Para imprimir por pantalla, se usa la clase *System*, el atributo *out* y el método *println* o *print*” y posteriormente se activa el servicio de conversión del discurso a texto, y así sucesivamente con cada usuario.

Cuando termina el proceso con cada usuario, el evaluador envía a pantalla los resultados, como se muestra en la siguiente Figura 1.



Figura 1. Resultados del evaluador

Fuente: elaboración propia.

Dentro de la información que muestra el evaluador, se plasman las estadísticas calculadas para cada motor; además del texto reconocido por cada uno de ellos. De esta forma, se puede conocer la cantidad de palabras que fueron reconocidas, cuáles generadas de manera acertada y se calcula el porcentaje de efectividad. Para cada evaluación, se almacena el audio para cotejar las estadísticas junto al texto producido de forma automática. Este proceso se lleva a cabo con cada uno de los 10 participantes del grupo seleccionado.

Resultados

Se llevó a cabo la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, debido a la cantidad de datos registrados en la muestra. La hipótesis establecida es: H_0 (hipótesis nula), radica en considerar que todas las medias son iguales y por lo tanto no existen diferencias entre el uso de una interfaz y la correcta traducción del discurso, mientras que la H_A (hipótesis alternativa) dice que existen diferencias estadísticamente significativas entre el uso de una interfaz y la correcta traducción del discurso.

Se crean tres grupos de comparación, en los que se evalúan las tres interfaces traductoras de voz (Tabla 1).

Tabla 1. Conjunto de datos que conforman los grupos a evaluar

		No.	Interfaz
No.	Tipo de micrófono	1	Microsoft Azure
1	Diadema inalámbrica Logitech	2	SAPI
		3	Google Cloud

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se observa que por lo menos una de las medias es mayor, esto prueba que cada variable es independiente. Los rangos promedio muestran que la interfaz 1 es la que difiere más del rango promedio de todas las observaciones y que está por encima de la mediana general.

Tabla 2. La interfaz 1 está por encima de las medias

Porcentaje			
Interfaz	Media	N	Desv. estándar
Azure	82.89 %	10	27.752 %
Sapi	54..20 %	10	15.831 %
Google	77.20 %	10	10.891 %
Total	71.40 %	30	22.628 %

Fuente: elaboración propia.

Para la siguiente Tabla 3 aparece el estadístico de Kruskal-Wallis y el valor de significancia, de acuerdo con los resultados se asume que existen diferencias estadísticamente significativas en las interfaces y la correcta traducción utilizando la diadema Logitech.

Tabla 3. Estadístico Kruskal-Wallis

Estadísticos de prueba ^{a, b}	
	Porcentaje
H de Kruskal-Wallis	15.723 %
gl	2
Sig. asin.	<.001

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la probabilidad asociada, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Una prueba Kruskal-Wallis fue realizada para averiguar si existen diferencias estadísticamente significativas entre el uso de una interfaz y la correcta traducción del discurso, los resultados de las pruebas fueron significativos: $\chi^2(2, N = 10) = 15.723$ y $p < 0.05$. La calidad del micrófono tiene una correcta conversión de la interfaz traductor Azure (82.8 %), seguida de Google Cloud Speech (77.2 %), y por último, con *SAPI* (54.2 %).

Todos los datos anteriormente presentados fueron evaluados utilizando el *software* Stata, el cual es un *software* estadístico utilizado en la ciencia de los datos.

Conclusiones y trabajo futuro

De acuerdo con los resultados, la interfaz de reconocimiento de voz Azure es el más confiable, pero se necesita nutrir más la parte gramatical para obtener datos óptimos y continuar experimentando con micrófonos de mejor calidad hasta lograr los resultados esperados. Una vez que se encuentre la combinación apropiada entre las tecnologías y las interfaces del reconocimiento de voz se podrá modificar la aplicación de tal modo que solo trabaje con Azure para la visualización de texto y conjuntarlo con algún otro elemento a favor del discapacitado auditivo. Para fortalecer la experimentación, sería necesario utilizar diferentes tipos de micrófonos de distintas calidades y así verificar si la interfaz de reconocimiento de voz se mantiene estable, logra la captura de la voz y reconoce un mayor número de palabras traducidas acertadamente. Se propone realizar la selección más apropiada del micrófono y reestructurar al evaluador de tal forma que tenga como proveedor de reconocimiento de voz a Azure. Esto mejoraría indudablemente la traducción del discurso.

Referencias

- Biblprog Windows. (2016). *Speech API*. https://biblprog.com/en/speech_api/
- Costa da, P.J. y Rosado, A. M. (2012). Migration to Windows Azure-Analysis and comparison. *Procedia Technology*, 5, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.011>
- Google Cloud. (2018). *Google Cloud Plataforma*. <https://googleapis.github.io/google-cloud-dotnet/>
- Lioulemes, A., Papakostas, M., Gieser, S. N., Toutountzi, T., Abujelala, M., Gupta, S. et al. (2016). A survey of sensing modalities for human activity, behavior, and physiological monitoring. *PETRA '16: Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, (16), 1-8. <https://doi.org/10.1145/2910674.2935850>

- Nikou, S. A. y Economides, A. A. (2014). Transition in student motivation during a scratch and an app inventor course [conferencia en papel]. *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1042-1045). <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826212>
- Sharma, F. y Wasson, S. G. (2012). Speech recognition and synthesis tool: Assistive technology for physically disabled persons. *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, 3(4), 86-91.
- Stinson, M., Ahmed, S., Elliot, L. y Easton, D. (2017). Using automatic speech recognition to facilitate communication between an individual who is hearing and one who is deaf or hard of hearing [conferencia en papel]. *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '17)* (pp. 407-408). <https://doi.org/10.1145/3132525.3134804>

2

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS DUNAS COSTERAS DEL SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO

Gabriel Arcos-Espinosa¹,*
Dora González-Turrubiates¹
Miranda Arcos-Pérez¹

Resumen

El litoral o zona costera del sur de Tamaulipas representa una importante riqueza ambiental y socioeconómica. En esta área interactúan de manera significativa tres factores: el terrestre, el oceanográfico y el meteorológico, los cuales generan una dinámica muy significativa en la configuración de la geomorfología de la zona de duna-playa. El registro y medición de interacción duna-playa revela el recorrer, erosión y depósito de una gran cantidad de arena, configurando los impactos causados por eventos meteorológicos extremos; siendo la duna la que proporciona sedimento a la playa cuando es necesario, representando un recurso de gran valor paisajístico y económico.

El presente estudio determina las características geomorfológicas más representativas tanto de las dunas como de la playa seca existente en el sur de Tamaulipas. Este trabajo se realiza a partir del análisis evolutivo del área de estudio mediante la configuración del modelo digital de elevaciones determinado por imágenes de satélite de alta resolución tipo LiDAR. Por la extensión del área de estudio 295.5 ha, fue necesario dividirla en 3 zonas, donde se trazaron 73 transectos a cada 100 m para configurar el modelo digital de elevaciones. Los resultados obtenidos indican una elevación máxima de duna de 26 msnm, una pendiente media de la playa seca de 7 grados y un tipo de arena fina. El volumen total de arena cuantificado fue 20.1 mm³. El perfil de playa promedio es de tipo reflectivo e identifica tres tipos de dunas: embrionarias, primarias y secundarias.

Palabras clave: dunas, morfología, línea de costa, zona costera, LiDAR.

¹Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

* garcos@docentes.uat.edu.mx

Introducción

Las dunas costeras son un recurso que es muy abundante en México; se pueden localizar en 17 estados de la República mexicana, en 156 municipios de la zona costera y cuentan con un área que representa 800 mil hectáreas (CONAFOR, 2013).

Una duna costera es la acumulación de arenas que se forma por la acción del viento, que es el principal agente que genera su geomorfología (Hesp y Smyth, 2019; Kaczkowski et al., 2018); los vientos reinantes moldean su forma, son grandes reservorios de arena para las playas. Para definir la geomorfología de las dunas es muy importante conocer su clasificación; embrionarias, primarias, secundarias y terciarias.

Las dunas embrionarias son las que se encuentran más próximas a la playa, son los primeros montículos de arena; estas tienen una gran dinámica y no cuentan con cubierta vegetal. Las dunas primarias son los montículos de arena después de las dunas embrionarias y de mayor elevación, no cuentan con cobertura vegetal, y las dunas primarias como las embrionarias son las que están en contacto con las mareas meteorológicas y de tormenta. Las dunas secundarias se encuentran después de las dunas primarias y se distinguen por su forma de cresta; se pueden encontrar cubiertas herbáceas de plantas rastreras y arbustos bajos y suelen estar en contacto con las mareas de tormenta. Finalmente, las dunas terciarias son conformaciones de arenas ya estabilizadas con vegetación floreciente que llegan a formar matorrales.

Para conocer el relieve de estas grandes extensiones de áreas a lo largo de costa, hoy en día se utiliza el LiDAR (acrónimo del inglés, *Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*), el cual es uno de los métodos más utilizados. Es una técnica no intrusiva que permite obtener información de la geomorfología del terreno (Fauret, y otros, 2020).

El viento, como se mencionó anteriormente, es el agente que genera y realiza cambios significativos en la zona de dunas; según estudios realizados, se ha calculado que en la mayoría de las playas del mundo durante el periodo de creación se puede apreciar una tasa de $15 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$ (Costas, de Sousa, Kombiadou, Ferrei, y Plomaritis, 2020).

A pesar de las grandes extensiones de dunas que se tienen en las costas mexicanas, son muy pocos los estudios sobre estos recursos naturales. El mayor de los esfuerzos para estudiar las dunas se encuentra en el golfo de México, particularmente en el estado de Veracruz (Jiménez, Espejel, y Martínez, 2015). Tamaulipas presenta escasos trabajos al respecto.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es caracterizar la geomorfología de las dunas localizadas en la costa del sur de Tamaulipas.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la costa del sur de Tamaulipas entre las escolleras del puerto de Tampico y las escolleras del puerto de Altamira, entre los paralelos 22° 20' y 22° 24' de latitud norte y los meridianos 97° 49' y 97° 50' de longitud oeste.

El área de estudio se localiza dentro del municipio de Altamira, Tamaulipas; cuenta con un área de 1 660 km², dentro de este territorio existe una población de 267 790 habitantes (INEGI, 2020). El municipio cuenta con una extensión costera de aproximadamente 25 km, el área de estudio de la zona de dunas posee una longitud de 7 015.45 m de línea de costa.

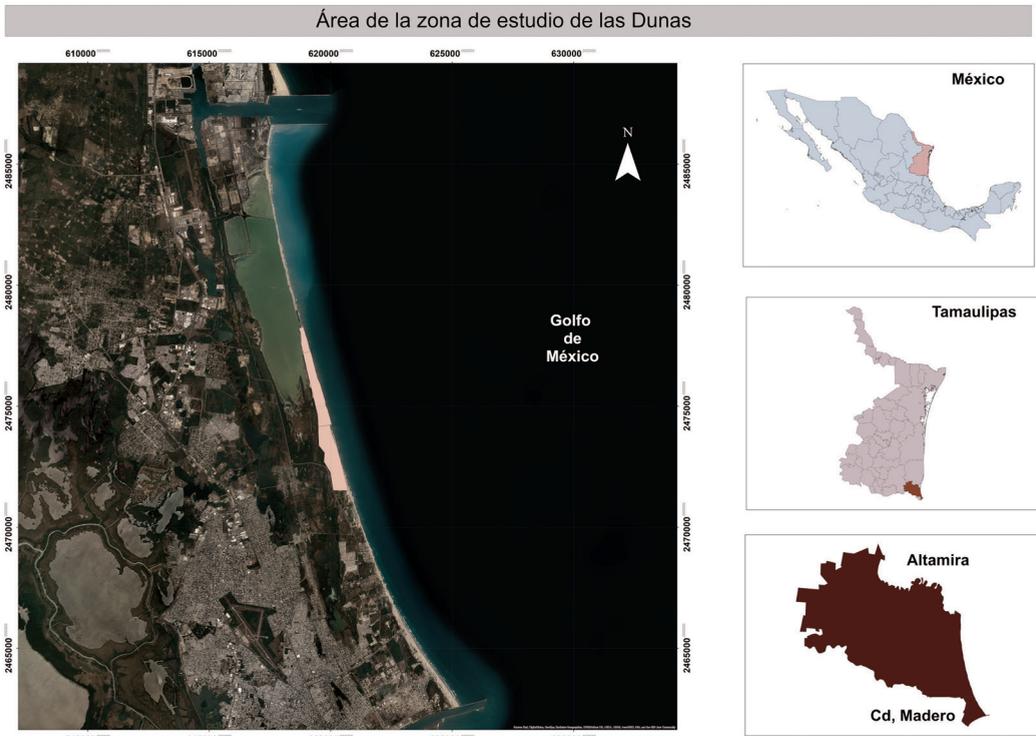


Figura 1. Mapa de localización de las dunas costeras del sur de Tamaulipas

Fuente: elaboración propia.

Metodología

A continuación, se explica brevemente la metodología utilizada para esta investigación:

1. Descargar el modelo digital de elevación de alta resolución LiDAR, del área de estudio.

2. Procesar el LiDAR con el apoyo de *software* ArcMap para convertir a curvas de elevación.
3. Definir el área de estudio que representan las dunas.
4. Realizar perfiles topográficos de la playa seca que se acoplan a la información obtenida de las curvas de elevación.
5. Generar el TIN (*Triangular Irregular Network*) acotado al área de estudio.
6. Trazar los transectos perpendiculares a lo largo de la línea de costa, con el apoyo de la herramienta 3D Analyst del *software* ArcMap.
7. Definir los perfiles de playa a través de los transectos y mediante la herramienta Profile Graph, determinar las coordenadas que definen cada perfil en archivos de formato txt.
8. Validar los perfiles de playa mediante el procesamiento de sus coordenadas en el *software* Matlab.
9. Determinar a partir del TIN del área de estudio el perímetro, el área y el volumen, este último mediante la herramienta Polygon Volume del ArcMap.

Procesamiento de la información

Para caracterizar la zona de estudio de las dunas costeras, se utiliza el sistema LiDAR de alta resolución de terreno en formato BIL (*Band Interleaved by Line*), esta información se procesa en Global Mapper para obtener las curvas de elevación del terreno, y se exportan al ArcMap utilizando la herramienta TIN, se procesan las curvas de nivel; para mayor precisión, se cortó el TIN recién generado al tamaño del polígono del área de estudio.

Una vez generado el TIN con la herramienta 3D Analyst, se generan transectos perpendiculares a la línea de costa con Interpolate Line para posteriormente generar una gráfica del transecto con Profile Graph, finalmente se exporta a un formato txt para procesar la información.

Con el mismo TIN y el polígono de área de estudio se puede obtener el área y volumen, esto se calcula con la herramienta Polygon Volume. Por lo tanto, se debe crear en el polígono una celda de elevación, la cual debe ser la menor en esa área de estudio, con este dato se procede al cálculo, con las mismas herramientas de ArcMap se calcula el perímetro de esta área.

Resultados

Para un mejor manejo de la información el área de estudio, se dividió en tres zonas de playa, esto con la finalidad de generar transectos que permitieran definir la geomorfología del terreno con mayor precisión. El área de estudio de sur a norte se les denominó zona 5, zona 6 y zona 7.

Una vez que se descargan los datos del INEGI del modelo digital de elevación de alta resolución LiDAR, se obtuvo el TIN en las tres zonas de playa, donde se puede apreciar el relieve del terreno con valores mínimos de 0.444 msnm y máximos de 27 msnm. Estos datos se obtuvieron con un mayor detalle al trabajar con los transectos de los perfiles de cada una de las dunas y la playa seca.

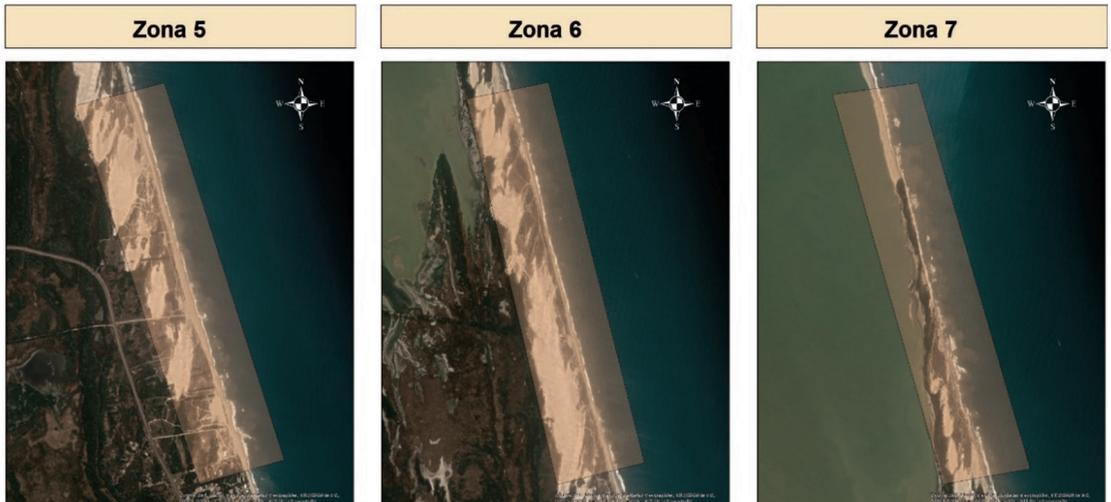


Figura 2. Área de estudio de las zonas 5, 6 y 7
Fuente: elaboración propia.

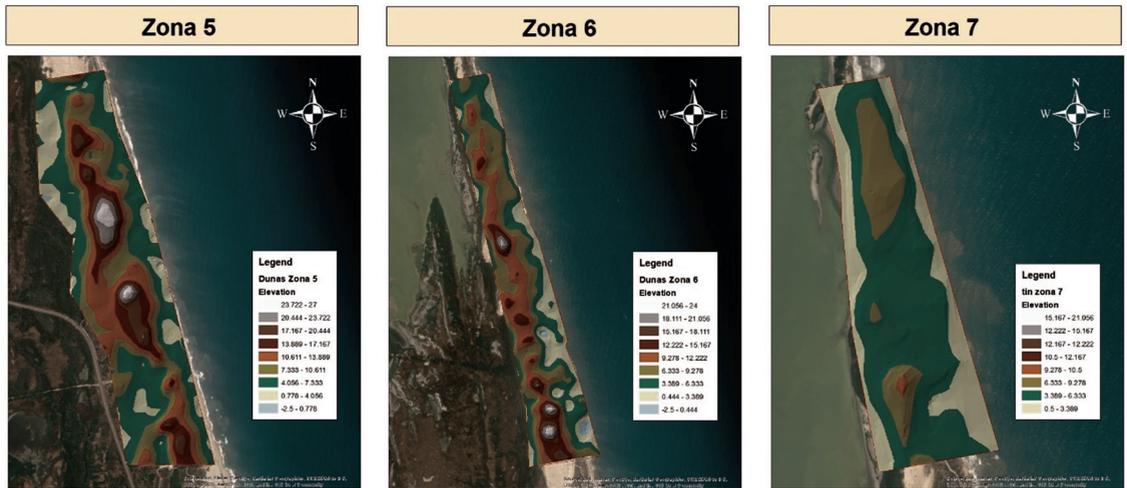


Figura 3. TIN de las zonas 5, 6 y 7
Fuente: elaboración propia.

Una vez generada el área y el TIN, se trazaron los transectos cada 100 m perpendiculares a la línea de costa para obtener los perfiles de cada una de las zonas de playa y tener un mayor detalle.

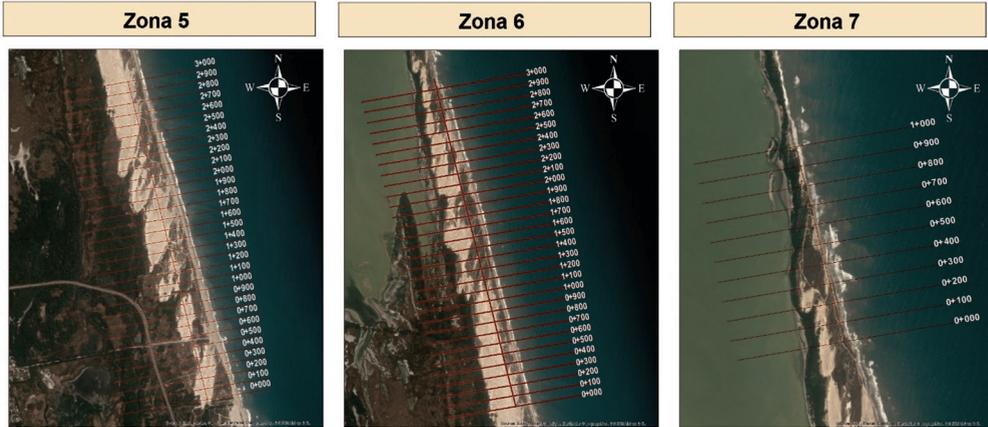


Figura 4. Trazo de los transectos de las tres zonas de playa
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el perfil transversal de sistema duna-playa en donde se pueden apreciar las diferentes unidades morfológicas en cada una de las 3 zonas de playa. La primera que se presenta es la zona 5, mejor conocida como Dunas Doradas en la costa de la zona sur de Tamaulipas.

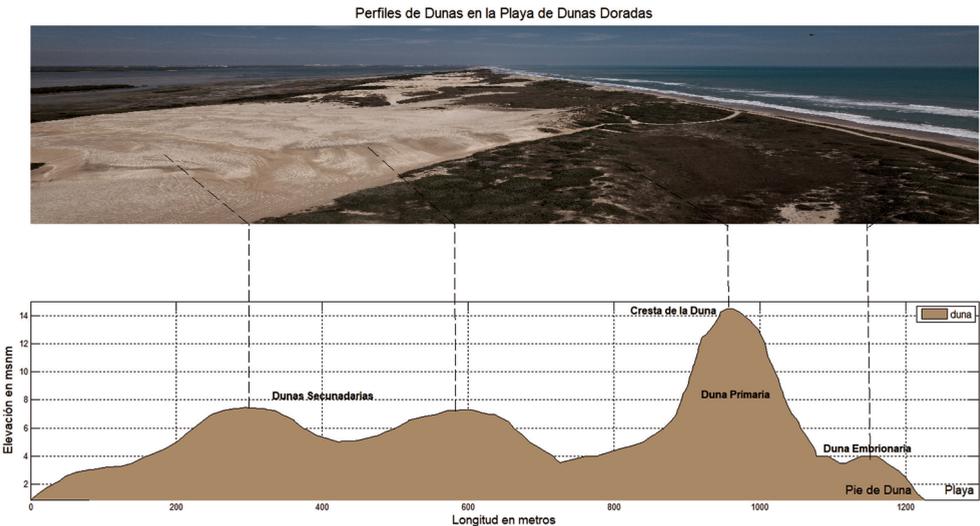


Figura 5. Perfil transversal del sistema duna-playa, zona 5
Fuente: elaboración propia.

Con el polígono de cada zona de estudio y el TIN, se calculó la longitud costera, su área y volumen de la zona de estudio como se observa en la Tabla 1. En la zona 5 (ver Figura 6) la pendiente promedio de la playa seca es de 0.06 con un ángulo promedio 3.34° , en función de su topografía se encontró un perfil de playa reflejante, se observaron principalmente dunas costeras y considerando sus características topográficas entran en el rubro de embrionarias, así como también dunas primarias y secundarias (ver Figura 7). En esta zona se localizó arena fina (0.5 mm). Aquí es donde se pueden observar elevaciones máximas de hasta 26 msnm.

Tabla 1. Cota máxima, longitud, área y volumen en la duna-playa zona 5

Zona	Cota máxima [m]	Longitud [m]	Área [m ²]	Volumen de arena [m ³]
5	26	2807.36	1 596 606.49	10 345 575.92

Fuente: elaboración propia.



Figura 6. Vista área de la duna-playa en la zona 5

Fuente: elaboración propia.

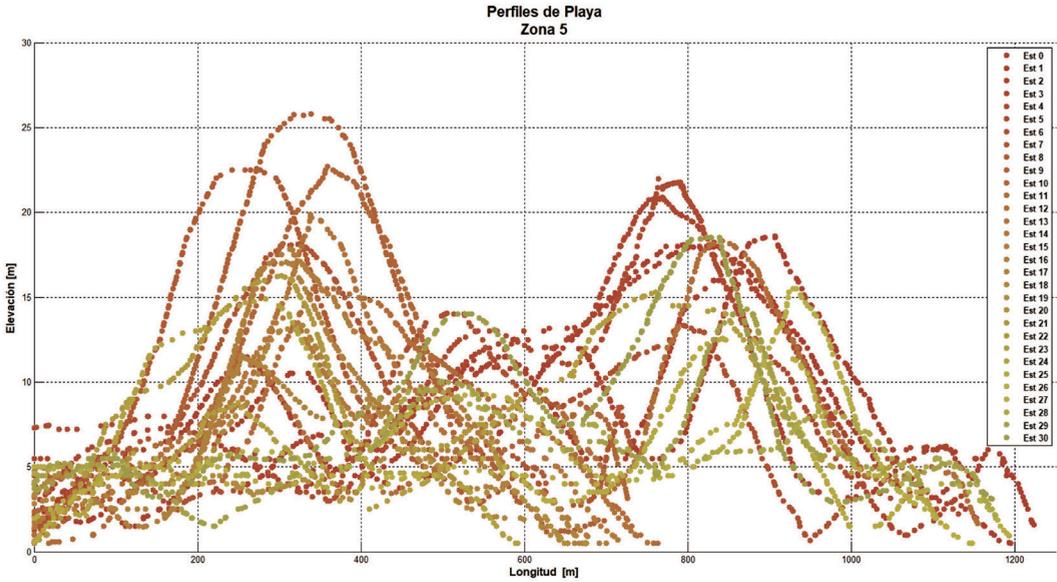


Figura 7. Perfiles de duna-playa en la zona 5

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó con anterioridad, se analizó por separado la zona de dunas y la playa seca (ver Figura 8); por lo tanto, en la parte del perfil de playa con los datos calculados, se determinó que la pendiente promedio de la playa seca es de 0.0695 con un ángulo promedio 3.98°. Se concluyó que para la zona 6 el tipo de arena es fina (0.5 mm), estas características continuaron siendo parte de un perfil de playa reflejante (ver Figura 9), se debe tomar en cuenta que el perfil de playa se comenzó a analizar en el pie de duna de las dunas embrionarias, la longitud de costa, el área y volumen se observan en la Tabla 2 y se encontró una elevación máxima es de 23 msnm.

Tabla 2. Cota máxima, longitud, área y volumen en la duna-playa zona 6

Zona	Cota máxima [m]	Longitud [m]	Área [m ²]	Volumen de arena [m ³]
5	26	3139.18	1 084 167.55	8 615 124.03

Fuente: elaboración propia.



Figura 8. Vista aérea de la duna-playa en la zona 6

Fuente: elaboración propia.

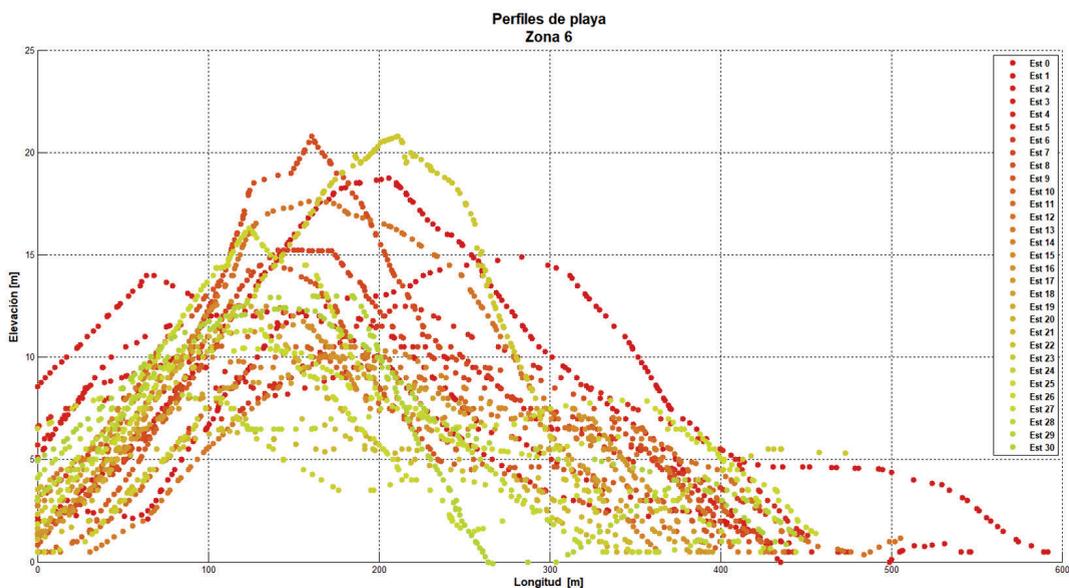


Figura 9. Perfiles de duna-playa en la zona 6.

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó en la descripción de la zona 5 y zona 6, se analizó por separado la zona de dunas y la playa seca; por lo tanto, en la parte del perfil de playa con los datos calculados, se apreció que la pendiente promedio de la playa es de 0.555 con un ángulo promedio de 3.2° a partir de estos datos se concluyó que para la zona 7 el tipo de arena es fina (0.5 mm), y continuó presentando las características de un

perfil de playa reflejante. La longitud de costa, el área y el volumen se observan en la Tabla 3, aquí la elevación máxima encontrada fue de 10 m.

Tabla 3. Cota máxima, longitud, área y volumen en la duna-playa zona 6

Zona	Cota Máxima [m]	Longitud [m]	Área [m ²]	Volumen de arena [m ³]
5	10	1 060.11	274 374.58	1 023 410.03

Fuente: elaboración propia.



Figura 10. Vista aérea de la duna-playa en la zona 7

Fuente: elaboración propia.

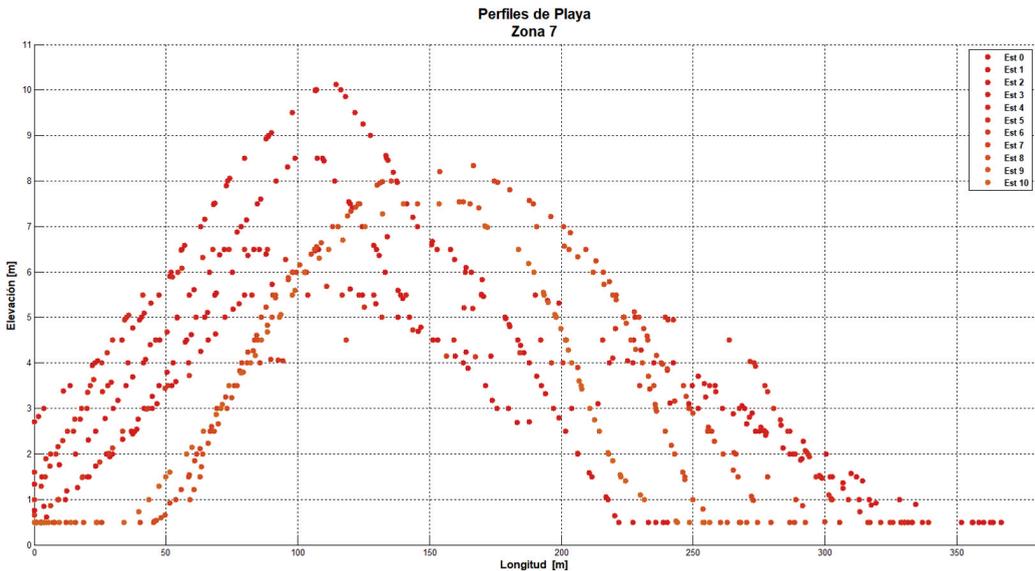


Figura 11. Perfiles de duna-playa en la zona 7

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Características físicas de la duna-playa en las tres zonas de estudio

Zona	Cota máxima [m]	Pendiente playa seca [°]	Área [m ²]	Volumen de arena [m ³]	Tipo de playa	Tipo de dunas
5	26	3.34°	1 569 606.49	10 345 575.92	Reflectivo	Embrionarias Primaria Secundaria
6	23	3.98°	1 084 167.55	8 615 124.03	Reflectivo	Embrionaria Primaria
7	10	3.20°	274 374.58	1 023 410.03	Reflectivo	Embrionaria Primaria
Total:			2 928 148.62	19 984 109.98		

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Para la caracterización del área de estudio se determinaron 73 transectos, obtenidos con el LiDAR a partir de la topografía del área de estudio y mediante el *software* ArcMap, se calculó la longitud de costa de 7 006.65 m, el área de 2 928 148.62 m² y el volumen de arena con un total de 19 984 109.98 m³. La cota máxima medida fue de 26 msnm en la zona 5, la máxima pendiente en la playa seca fue de 3.98° en la zona 6. La arena se identificó de tipo fina (0.5 mm). Además, se identificaron tres tipos de dunas: embrionarias, primarias y secundarias. El perfil de la playa en estas tres zonas es reflectivo.

Trabajo futuro

Los resultados son un buen comienzo para futuros trabajos de investigación, como el de analizar el progreso de estas tres zonas de manera temporal, así como el uso de drones que permitan dar seguimiento de la evolución, tanto temporal como espacial. También se considera importante obtener la configuración del relieve del fondo marino frente a esta zona costera. Finalmente, con un análisis de corrientes costeras y transporte de sedimentos se tendrían muchos más elementos que ayudarían a entender la importancia que guarda esta área en la dinámica costera de la zona. Estos estudios permiten entender la dinámica de la zona costera, con la intención de protegerlos y continuar disfrutando de estas riquezas naturales en la zona sur de Tamaulipas.

Referencias

- Comisión Nacional Forestal -CONAFOR-. (2013, 27 de diciembre). *Dunas costeras, ecosistema prioritario para el país*. SEMARNAT.
- Costas, S., de Sousa, L., Kombiadou, K., Ferrei, Ó. y Plomaritis, T. (2020). Exploring foredune growth capacity in a coarse sandy beach. *Geomorphology*, 371, 107435. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X20304086?via%3Dihub>
- Fauret, Q. L., Marieu, V., Castelle, B., Bujan, S., Michalet, R. y Rosebery, D. (2020). Coastal Dune Morphology Evolution Combining Lidar and UAV. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 163-167. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/341663969_Coastal_Dune_Morphology_Evolution_Combining_Lidar_and_UAV_Surveys_Truc_Vert_beach_2011-2019
- Hesp, P. y Smyth, T. (2019). CFD flow dynamics over model scarps and slopes. *Physical Geography*, 42(1), 1-24. <https://doi.org/https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02723646.2019.1706215>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-. (2020). *Número de habitantes*. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tam/poblacion/default.aspx?tema>
- Jiménez, O., Espejel, I. y Martínez, M. L. (2015). La investigación científica sobre dunas costeras de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.022>
- Kaczkowski, H., Kana, T. y Traynum, S. (2018). Beach-fill equilibration and dune growth at two large-scale nourishment. *Ocean Dynamics*, 68(9), 1191-1206. <https://doi.org/https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-018-1176-2>

3

IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS RELACIONADOS CON FACTORES MEDIOAMBIENTALES

Aurora Martínez-Loaiza^{1,*}
Elda Margarita Hernández-Rejón¹
Adrián Blancas-Islas¹

Resumen

Las viviendas de interés social y otros tipos de edificaciones pueden manifestar deterioros prematuros atribuibles a diferentes causas, entre las cuales se encuentran las relacionadas a los efectos de las condiciones climáticas con altos niveles de humedad y temperatura, iones de cloro y carbonatación característicos de zonas costeras. El presente trabajo se enfoca en determinar la relación de los factores medioambientales con los daños o lesiones en los elementos estructurales de viviendas. Estudiantes de las carreras de Ingeniero Civil y Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, quienes cursaban las materias de Taller de Estructuras y Resistencia de Materiales con acceso a una vivienda de interés social, fueron capacitados a través de talleres virtuales para participar en el levantamiento de lesiones en viviendas de interés social ubicadas en la zona conurbada de Tampico, Madero y Altamira. Del total de viviendas observadas, el 62 % de los muros presentaron fisuras o grietas, 16 % eflorescencias y otros daños en menor porcentaje. En las losas, el 38 % presentó desprendimiento y corrosión del acero de refuerzo, 20 % humedad, 15 % fisuras y 14 % eflorescencias. Aunque el levantamiento de daños estuvo limitado por la pandemia de SARS-CoV-2, se determinó que los daños encontrados en las viviendas coinciden con las características de afectaciones provocadas por factores medioambientales de la zona por sus altos niveles de humedad y temperatura que aceleran los

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

* amartine@docentes.uat.edu.mx

procesos naturales de carbonatación y que, al combinarse con los iones de cloruro, desencadenaron mecanismos donde los muros y losas envolventes de las viviendas resultaron ser los elementos con mayores lesiones.

Palabras clave: vivienda; concreto reforzado; grietas, carbonatación.

Introducción

El presente trabajo aborda las viviendas de interés social tradicionales (CONAVI, 2017) a base de muros de carga con mampostería confinada (Idowu, 2008) conforme a los requisitos definidos por las *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería* (NTCDCEM, 2017). El estudio está enfocado en las lesiones que pudieran presentarse en la mampostería y en los elementos de concreto reforzado como las dalas, castillos y losas, tomando en cuenta que en las zonas costeras del sur de Tamaulipas, México, los altos niveles de humedad y temperatura, los iones de cloro y la carbonatación pueden tener estrecha relación con los procesos de deterioro a edades tempranas; dando lugar a fisuras, agrietamientos y corrosión del acero de refuerzo (Solís, et al., 2005), aunque la vida útil de diseño sea de 50 años (NTCDCEC, 2017). En la Figura 1 se muestran dos tipos de viviendas de interés social propias de la zona de estudio.



Figura 1. Vivienda de interés social (a) de un nivel y (b) de dos niveles

Fuente: autoría propia.

Los defectos constructivos, desastres como sismos, inundaciones y derrumbes, provocan daños no previstos (Esteve, 2015) y aunque se tiene conocimiento de los posibles efectos de las condiciones medioambientales no se le ha dado suficiente atención ignorando que además de las cargas y sollicitaciones previstas en el análisis estructural, un elemento de concreto reforzado puede presentar problemas de degradación o corrosión en el acero de refuerzo al estar expuesto a un conjunto de condiciones físicas, químicas y electroquímicas debido a las acciones medioambientales (López, et al., 2006; Ramezani pour et al., 2014).

Para una mayor comprensión de los mecanismos de deterioro del concreto reforzado, es importante considerar que el concreto está constituido generalmente de un 70 % de agregados, que en combinación con el cemento y agua proporcionan una resistencia mecánica al concreto endurecido y controlan los cambios volumétricos que se llevan a cabo durante el proceso de fraguado de los componentes del cemento.

Los componentes del concreto están unidos por un conjunto de fuerzas que pueden modificarse con ondas de energía que se relacionan a las provenientes del sol, específicamente los rayos ultravioletas e infrarrojos considerados como los responsables de la degradación de materiales expuestos a la intemperie; aunado a lo anterior, los cambios de temperatura provocan contracciones y dilataciones que se convierten en fisuras y grietas por causas físicas: el concreto se expande cuando la temperatura aumenta y se contrae cuando disminuye, este efecto se presenta en regiones de radiación solar intensa por la mañana y vientos o lluvias durante la noche (Mena, 2005).

La alcalinidad del concreto contribuye a que el acero de refuerzo se mantenga en condición pasiva retardando los procesos de corrosión; sin embargo, la presencia del dióxido de carbono, los cloruros en forma de iones contenidos en el aire marítimo (Mena, 2005) y los efectos de la lluvia ácida pueden modificar las propiedades del concreto estimulando los procesos de corrosión; la oxidación de las varillas a su vez ocasiona el desprendimiento del recubrimiento permitiendo la entrada de humedad y acelerando el deterioro del concreto (Fan et al., 2010; Mena, 2005; Ramezaniapour et al., 2014).

En la zona conurbada de Tampico, Ciudad Madero y Altamira, al contar con un clima cálido sub-húmedo con un rango de precipitaciones entre 1 000 mm y 2 000 mm anuales, 74.2 % de humedad relativa, valores promedio de temperatura entre 22 °C y 26 °C con velocidad de los vientos entre 3.1 y 4.2 m/s a 10 m sobre la superficie de la Tierra (INEGI, 2017) y donde se combinan los contaminantes atmosféricos y el ambiente marino, se considera pertinente realizar un análisis del deterioro de los elementos estructurales que componen una vivienda con el fin de establecer programas de mantenimiento preventivo para reducir los daños en las viviendas construidas y mejorar la calidad de los materiales en las nuevas construcciones.

Se da especial énfasis a las losas de concreto reforzado y a los muros, por considerarlos como los elementos más vulnerables en una vivienda (Barona y Sánchez, 2005; Río Bueno, 2008), debido a su mayor contacto con el exterior (Ilozor et al., 2004). “La envolvente es la piel que recubre los edificios y los protege

de la intemperie y de las acciones exteriores. En consecuencia, esta envolvente es propensa a tener muchas deficiencias” (Carretero et al., 2021, p.1).

En la identificación de daños y su posible relación con las condiciones medioambientales, el estudio estuvo limitado a una inspección visual considerando las siguientes lesiones:

- Fisuras, grietas, desprendimientos y pérdidas de recubrimiento que pueden ocurrir como resultado a la exposición de ciclos continuos de agua y sol o a la variación de temperatura y humedad del ambiente que ocasionan contracciones y dilataciones en los materiales, los agrietamientos en los elementos estructurales también se pueden presentar por asentamientos debido a la consolidación del terreno.
- Humedad capilar, si la edificación se encuentra asentada en zonas húmedas, el agua asciende por capilaridad poco a poco hasta alcanzar una altura que puede llegar a ser de hasta un metro y medio, este ingreso de humedad contribuye tanto a la corrosión del acero de refuerzo como a las pérdidas de recubrimiento.
- Humedad de condensación, que ocurre cuando el vapor de agua se convierte en microgotas, siendo común que se presente en baños y áreas húmedas.
- Eflorescencias, que son depósitos de sales de color blanco azulado o color gris-blanco; ocurren cuando las sales solubles de los materiales son arrastradas por el agua hacia el exterior durante su evaporación y cristalizan en la superficie del material.
- Corrosión del acero de refuerzo.

Metodología

Elaboración del instrumento de inspección

Se diseñó un formulario en línea para realizar el levantamiento de las lesiones a través de una inspección visual en las viviendas. Los elementos estructurales inspeccionados incluyeron muros de mampostería confinada, losas, columnas y trabes de concreto reforzado. En la primera parte del formulario, se solicitaron los datos de contacto del encuestado, la ubicación geográfica de la vivienda, la selección del tipo de vivienda clasificadas como tipo A con un solo nivel y tipo B para dos niveles, el año de construcción y modificaciones en las viviendas, como remodelaciones arquitectónicas o rehabilitaciones estructurales.

Posteriormente, se estableció un recorrido por cada habitación de la vivienda para realizar el levantamiento de daños. El inicio de cada zona incluyó una imagen que mostraba lesiones comunes del área en particular como guía para

realizar la inspección, a manera de pregunta se solicitaba seleccionar los elementos identificados, la descripción de las lesiones, así como el tiempo en que apareció la lesión, presentando la opción de agregar fotografías. En la Figura 2 se muestra un fragmento del formulario.

The image shows a digital form with two main sections. The left section is titled "Diagnóstico estructural de vivienda por daños relacionados a cargas ambientales en la zona conurbada Tampico-Madero-Altamira". It contains instructions to complete the form clearly and honestly, a field for an email address, and a field for a phone number. The right section is titled "LESIONES EN COCINA" and includes a sub-instruction: "En caso de no existir lesiones en esta habitación entra y continúa con la siguiente sección." Below this is a photo of a kitchen with the text "Esta imagen muestra un ejemplo de los daños que pueden presentarse en la cocina." At the bottom of this section is a list of elements to check for damage: "¿En qué elemento de tu vivienda aparece la lesión?" with checkboxes for "Muro", "Columna", "Viga", "Losa / Teja", "Piso", and "Otros".

Figura 2. Esquema con fragmento del formulario

Fuente: elaboración propia.

Reclutamiento y capacitación

Ante la imposibilidad de realizar visitas de inspección a viviendas por efectos de la pandemia del COVID-19, se solicitó la participación a los alumnos de las carreras de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, quienes cursaban las materias de Taller de Estructuras y Resistencia de Materiales y con acceso a una vivienda de interés social unifamiliar o dúplex en la zona sur de Tamaulipas, mismos que fueron capacitados a través de talleres virtuales para la identificación de lesiones tales como fisuras, grietas, desprendimientos, pérdidas de recubrimiento, humedad capilar, condensaciones, efflorescencias y corrosión del acero. y para el llenado del instrumento, lográndose la colaboración de 64 estudiantes.

Levantamiento de las lesiones

De acuerdo con el diseño del formulario, cada participante realizó el recorrido por las diferentes áreas de su vivienda, iniciando con la cocina, continuando con los baños, sala-comedor, recámaras y exteriores efectuando el registro de sus hallazgos, seleccionando las opciones establecidas y aportando imágenes fotográficas. Recopilada la información, se procedió a su análisis, valoración y clasificación determinando los porcentajes de distribución de cada uno de los aspectos considerados.

Resultados

De las viviendas encuestadas, el 31 % corresponden al tipo A con un solo nivel y el 69 % al tipo B con dos niveles. En la Figura 3 se muestra la ubicación de la zona de estudio que comprende las ciudades de Tampico, Madero y Altamira, pertenecientes a Tamaulipas dentro del territorio nacional.

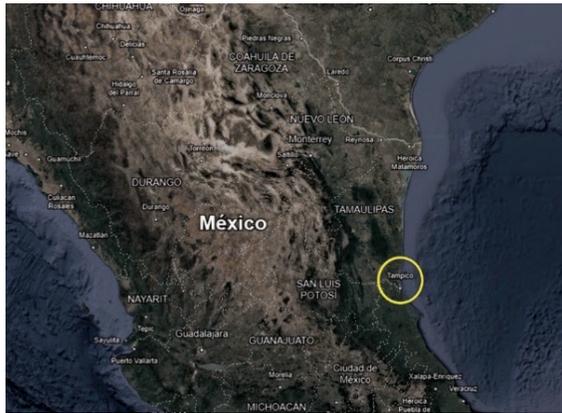


Figura 3. Ubicación de la zona de estudio en el territorio mexicano
Fuente: elaboración propia utilizando la plataforma earth.google.com

En la Figura 4 se muestra la distribución de viviendas tipo A y Tipo B encuestadas dentro de la zona conurbada, también se puede observar la cercanía con la costa y los sistemas lagunares que rodean la zona.

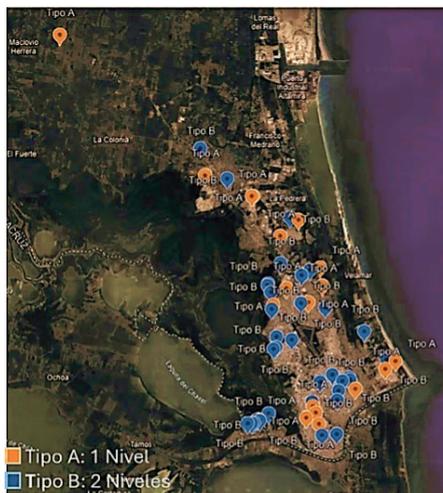


Figura 4. Ubicación de viviendas encuestadas
Fuente: elaboración propia utilizando la plataforma earth.google.com

Considerando la ubicación geográfica, el 87 % de las viviendas se localizaron en la mancha urbana de la zona conurbada, como se aprecia en la Figura 5, con un 41 % en Tampico, 20 % en Madero y 26 % en Altamira.

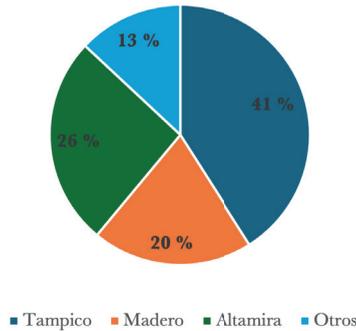


Figura 5. Distribución de viviendas
Fuente: elaboración propia.

A partir del año de construcción registrado y tomando en cuenta una vida útil de diseño de 50 años, se establecieron cuatro rangos para determinar los porcentajes de antigüedad de las viviendas. En la Figura 6 se muestra que el 12 % tienen 15 años o menos, el 37 % tienen entre 16 y 25 años, el 23 % tienen entre 26 y 40 años, y el 28 % tienen más de 40 años.

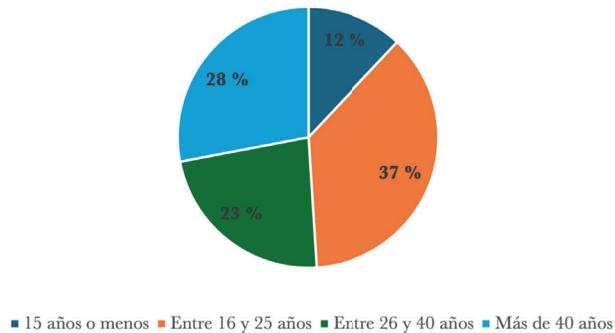
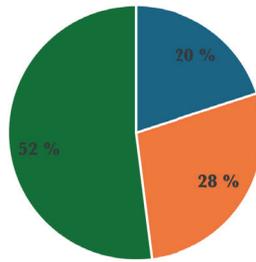


Figura 6. Antigüedad de las viviendas
Fuente: elaboración propia.

Con referencia a las modificaciones en las viviendas, un 20 % registra algún tipo de remodelación arquitectónica, un 28 % refiere rehabilitaciones estructurales y un 52 % no reporta algún tipo de modificación en su vivienda, como se muestra en la Figura 7.

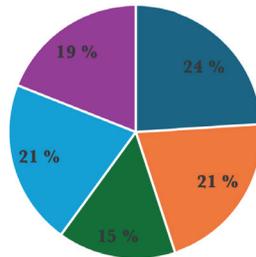


■ Remodelación arquitectónica ■ Rehabilitación estructural ■ Sin modificación

Figura 7. Modificaciones en las viviendas

Fuente: elaboración propia.

Del levantamiento de lesiones efectuado por cada habitación, la cocina presentó el mayor porcentaje de lesiones siendo de 24.2 %, seguida por las recámaras con un 21.4 %, los baños con 20.5 %, exteriores con 18.6 % y sala-comedor con 15.3 %. En la Figura 8 se muestran los porcentajes de lesiones por habitación.



■ Cocina ■ Baños ■ Sala/comedor ■ Recámaras ■ Exteriores

Figura 8. Distribución de lesiones

Fuente: elaboración propia.

Con relación a los elementos estructurales de la vivienda afectados, los muros presentaron el mayor número de lesiones con un 61 %, seguido de las losas con un 33 % y un 6 % clasificado en otros como se muestra en la Figura 9. Estos resultados pueden tener relación con el tipo de inspección realizada que solo se limitó a la inspección visual. No se tiene información a detalle si se realizaron visitas a las losas de azotea o solo se observó el interior de la casa.

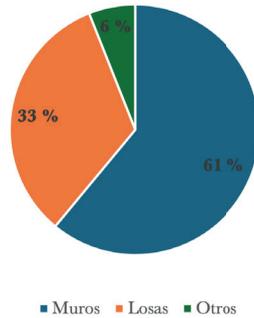


Figura 9. Lesiones por elemento estructural

Fuente: elaboración propia.

De las lesiones detectadas en los muros, el 37 % corresponden a fisuras, el 25 % a grietas y el 16 % a eflorescencias; otras lesiones presentadas en menor porcentaje fueron especificadas como condensaciones 9 %, desprendimiento y corrosión del acero de refuerzo 9 % y humedad 4 %, como se detalla en la Figura 10.

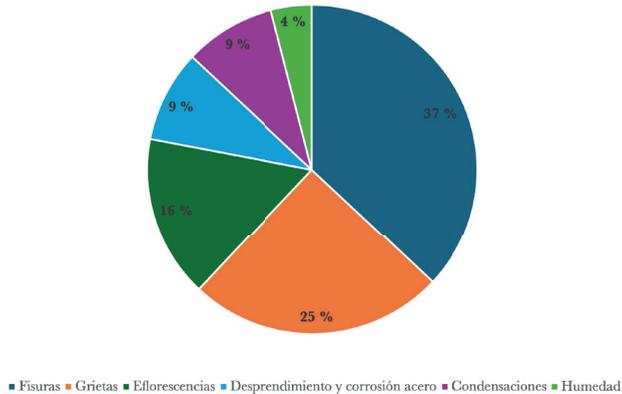


Figura 10. Lesiones en muros

Fuente: elaboración propia.

De las lesiones detectadas en losas, el 38 % corresponde al desprendimiento y corrosión del acero de refuerzo, el 20 % a humedad, el 15 % a fisuras, el 14 % a eflorescencias, el 7 % condensaciones y el 6 % a grietas, como se detalla en la Figura 11. El mayor número de lesiones se registró particularmente en los aleros, cuyas áreas están más expuestas a la intemperie.

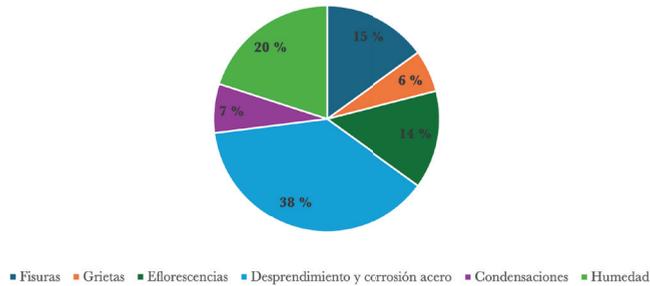


Figura 11. Lesiones en losas

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 12 se muestran algunas de las lesiones observadas en las losas de viviendas. En la Figura 12a se aprecia la losa de sala-comedor con eflorescencias causadas por la humedad y el desprendimiento de la pintura. Esta condición de humedad en la losa si no se corrige, además del mal aspecto y desprendimiento del polvo producido por los cristales de sales, seguirá deteriorando la losa, dando lugar a la corrosión del acero, ocasionando pérdidas en su área y debilitando su resistencia.

En la Figura 12b se ve la losa de un baño con desprendimiento del aplanado y acero de refuerzo expuesto, así como manchas de humedad. Para este caso, se requiere hacer una inspección más detallada donde se determine si la pérdida de recubrimiento ocurrió por la corrosión del acero ocasionada por la filtración de humedad en la losa o si había un recubrimiento insuficiente cuando se elaboró la losa dejando el acero expuesto y acelerando su proceso de corrosión.

En la Figura 12c se observa la losa de una recámara con acero de refuerzo expuesto que presenta corrosión, así como con desprendimiento y destrucción de acabados y eflorescencias causadas por la humedad, que continúan hacia los muros, y la Figura 12d muestra la losa de una cochera donde la humedad generó eflorescencias con tendencia a la formación de estalactitas.



Figura 12. Lesiones observadas en losas. (a) eflorescencias, (b) pérdida de aplanado, (c) acero expuesto y (d) eflorescencias con estalactitas

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se inspeccionaron daños en elementos estructurales de 64 viviendas para determinar su relación con el efecto de las condiciones ambientales, y se determinó que los daños encontrados en las viviendas coinciden con las características de afectaciones provocadas por condiciones ambientales de la zona por sus altos niveles de humedad y temperatura que aceleran los procesos naturales de carbonatación que, al combinarse con los iones de cloruro, desencadenaron mecanismos donde los muros y losas resultaron ser los elementos con mayores lesiones.

La presencia de humedad y eflorescencias identificadas en muros y losas provocan el desprendimiento de pinturas y acabados. Las fisuras y grietas presentes en las losas de concreto permiten el paso de la humedad y puede acelerar el fenómeno de carbonatación, desencadenando el proceso de corrosión en el acero de refuerzo.

Las inspecciones realizadas fueron de carácter preliminar como un primer acercamiento para conocer el estado de las viviendas y poner atención a las condiciones que demanden una mayor atención y requieran una inspección detallada.

La participación de estudiantes también tiene un valor agregado por la sensibilización que se logra para que consideren y promuevan en sus propuestas arquitectónicas, diseño y construcción, el mantenimiento de las viviendas como un requisito para el cumplimiento de la vida útil propuesta en los manuales de diseño vigentes en México, donde las zonas costeras deben ser tomadas en cuenta dentro del diseño.

Trabajo futuro

Este trabajo, si bien puede ser más extenso para llegar al origen de la lesión, teniendo acceso a datos de primera mano, planos y pruebas de laboratorio, representa un primer acercamiento para este diagnóstico que genere un estado actual de lesiones en viviendas de la zona conurbada, siendo necesario que en investigaciones futuras se puedan tener una muestra mayor con el acceso a pruebas y ensayos que permitan determinar la calidad de los materiales a través de pruebas no destructivas.

Referencias

- Barona, E. y Sánchez, F. (2005). Procesos patológicos en viviendas de interés social. Investigación en unidades habitacionales de la ciudad de Puebla-México. *El Hombre y la Máquina*, 24(enero-junio), 62-71. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/179/T0003394.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carretero, M., Rodríguez, E.; Bienvenido, D. y Moyano, J. (2021). Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings. *Journal of*

- Building Engineering*, 39(1), 102235 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221000917>. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102235>
- Chávez, E., Pérez, T., Reyes, J. y Corvo, F. (2013). Deterioro de estructuras de concreto por carbonatación en ambiente marino tropical y cámara de carbonatación acelerada. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 36(2), 104-113. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702013000200002
- Comisión Nacional de Vivienda -CONAVI-. (2017). *Código de Edificación de Vivienda*. <https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda-3ra-edicion-2017>
- Esteve, V. (2015). *Estado del arte de los factores que afectan a la durabilidad de las edificaciones* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. RiuNet repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/47820>
- Fan, Y., Hu, Z., Zhang, J. y Liu, J. (2010). Deterioration of compressive property of concrete under simulated acid rain environment. *Construction and Building Materials*, 24(10), 1975-1983. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810001224> <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.002>
- Garcés, L. F. y Hernández, M. L. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67-72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>
- Granados, D., López, G. y Hernández, M. A. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *RSHSCFA. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 187-206. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- Idowu, O. (2008). *Comportamiento de muros de mampostería: Calibración de un modelo no-lineal de elementos finitos, utilizando openses* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio IPN. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3541/COMPORTAMIENTODEMUROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ilozor, B., Okoroh, M. y Egbu, C. (2004). Understanding residential house defects in Australia from the State of Victoria. *Building and Environment*, 39(3), 327-337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.07.002>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-. (2017). *Anuario Estadístico y Geográfico de Tamaulipas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094928.pdf
- López, R., Pérez, J., Torres, A., Martínez, M., Martínez, W., Ariza, L. et al. (2006). *Durabilidad de la Infraestructura de Concreto Reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México* (Publicación Técnica No. 292). Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt292.pdf>

- Mena, M. (2005). *Durabilidad de estructuras de concreto en México. Previsiones y recomendaciones*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- NTCDCEC. (2017). *Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y Secretaría de Obras y Servicios. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>
- NTCDCEM. (2017). *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y Secretaría de Obras y Servicios. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>
- Ramezaniapour, A. A., Ghahari, S. A. y Esmaeili, M. (2014). Effect of combined carbonation and chloride ion ingress by and accelerated test method on microscopic and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 58(15), 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.102>
- Río, A. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*. E.T.S. Arquitectura (UPM). http://oa.upm.es/1159/1/LIBRO_RIO_BUENO_01.pdf.
- Solís, R., Moreno, E. y Castro, P. (2005). Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México*, 9(1), 13-18. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen9/durabilidad.pdf>

4

GESTIÓN DE RESIDUOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECOLÓGICO

René Tinoco Mendiola^{1,*}
Diana Carolina Barreda Guajardo¹
Juan Enrique Bermea Barrios¹

Resumen

Algunos problemas de contaminación ambiental de las grandes empresas son los residuos. Se definen como aquel material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servicio; conocer los tipos y los volúmenes de residuos industriales generados por la empresa siderúrgica es el objetivo de esta investigación, para ello se empleará una cédula de operación anual para gestionar y hacer una evaluación del impacto económico, social y ambiental. Se determinarán los materiales, los tratamientos o manejos con la idea de aplicar el concepto de economía circular. Se tendrán que definir los residuos que se generan de los procesos de la empresa siderúrgica, identificar la normatividad aplicable a los residuos industriales generados de sus procesos, gestionar los tratamientos residuales generado de los procesos, para posteriormente determinar los beneficios económicos producidos con la implementación de la gestión de tratamientos de residuos y establecer los impactos ambientales como resultado de cada tratamiento. Después de aplicar una metodología por etapas para clasificar y cuantificar los residuos, caracterizar los procesos y definir indicadores, evaluar los beneficios de la economía circular y el impacto social en la gestión, se obtuvieron algunos de los siguientes resultados: se logró clasificar los residuos generados de cada área en particular, siendo el cartón plastificado el residuo que representa el mayor porcentaje de generación con un 62.26 % y los lodos de aguas residuales con el porcentaje menor, un 17.77 %, los ingresos obtenidos por la valorización de los residuos, donde el mayor porcentaje

¹Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*rtinoco@docentes.uat.edu.mx

de ingresos es el *scrap* o desperdicio del proceso como un subproducto del proceso del corte transversal de los rollos de acero, como segundo ingreso el PET y el que tiene menor precio en mercado es el papel y garrafas de plástico, el *scrap* del proceso es el porcentaje con mayor valorización del 62 %, el papel y garrafas de plástico el porcentaje menor con un 1 % del total de ingresos.

Palabras clave: residuos, normatividad, gestión

Introducción

En los últimos años, la economía circular ha emergido como una solución clave para abordar los desafíos ambientales en la industria siderúrgica. Este enfoque promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, minimizando la generación de residuos y cerrando los ciclos de producción. La adopción de prácticas de economía circular no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece beneficios económicos significativos al optimizar el uso de recursos y reducir la dependencia de materias primas vírgenes (Springer, 2024; Steel-Technology.com, 2024).

Los problemas de contaminación ambiental no solo aplican para las grandes empresas que producen residuos. Los residuos son todos aquellos materiales que pierden utilidad tras haber cumplido con su misión o servicio para realizar un determinado trabajo, por lo que es de vital importancia la colaboración de empleados, proveedores, contratistas, clientes y de la comunidad en general para la implementación de tratamientos de dichos residuos, como la aplicación de las R (Reducir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar, Repensar, Reestructurar, Redistribuir), con la intención de minimizar el impacto ambiental.

La importancia de este estudio es evaluar el impacto socioecológico en la gestión de tratamientos de residuos industriales de los procesos de la empresa metalúrgica de Altamira, Tamaulipas, México. Primeramente, identificando los volúmenes que se manejan para así apoyar al medio ambiente a través de la economía circular (EC), con la intención de favorecer los proyectos de responsabilidad social que beneficien a la comunidad.

Con esto se lograría atender dos áreas de actividades importantes: el cuidado del medio ambiente y mejorar la calidad de vida en la comunidad. Para ello es necesario investigar los materiales residuales, definir cada uno de los que se generan en la planta; además de identificar las áreas para segregarlos o clasificarlos, detallar los panoramas ambientales que se presentan en la empresa, los residuos como indicadores de volúmenes generados, así como las normativas aplicables.

Además, se revisa el cumplimiento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, que garantiza el derecho de toda persona al medio

ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos y llevar a cabo su remediación, específicamente los artículos del 27° al 34° de esta ley (PROFEPA, 2016).

Después de la identificación de cada uno y su cuantificación, se determinan los beneficios económicos con la implementación de su gestión y se identifican los impactos sociales a partir de ella, esto a través de la correcta valoración de la disposición de los desechos, revisando sus ciclos.

Finalmente, se exponen las conclusiones, así como comentarios, reflexiones y los resultados de cada análisis residual con el tratamiento que se le dio a cada uno. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC):

El manejo integral y sustentable de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reúso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuántas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia (INECC, 2007).

El *Plan de Manejo* es un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno.

Careaga (1993) publicó el libro *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*, con trabajo de campo realizado en el Distrito Federal y municipios conurbados, enfocado en los residuos sólidos urbanos. El objetivo principal de su proyecto fue analizar los desechos de envase y embalajes dentro de las diversas etapas en que puede dividirse el manejo de los residuos sólidos municipales, así como la

contribución de la industria del envase en la búsqueda de soluciones para la protección del medio ambiente y de la salud humana. En su trabajo describe la gestión de los residuos sólidos municipales desde su identificación, el uso de las R's, la selección de los desechos domiciliarios y reciclaje, disposición de residuos, concienciación de acciones, las políticas y estrategias, disposición hasta la comercialización de los residuos. Dicho trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que muestra las diversas etapas de la gestión, lo que resulta un aporte importante aplicado a la empresa siderúrgica para establecer un plan de manejo de residuos.

Metodología

De acuerdo con Moguel (2005), quien menciona que la investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque plantea conclusiones dominantes sobre cómo una persona, grupo o cosa, se conduce o funciona en el presente. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades, y su característica fundamental es presentar una interpretación correcta.

El método inductivo es un método que estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objetivo de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis), y luego de manera holística e integral (síntesis) (Torres, 2006).

La metodología se fundamenta con las normas oficiales mexicanas: LGPGIR, la NOM-161-SEMARNAT-2011, la hipótesis integra la pregunta: ¿es posible contribuir a la responsabilidad social corporativa mediante una propuesta de EC en la gestión de desechos? Las variables independientes son las actividades de la gestión de desechos y las variables dependientes se definen a través de los recursos humanos y financieros para realizar las actividades de gestión y el volumen de residuos generados.

Para la gestión efectiva de residuos en la industria siderúrgica, es esencial incorporar tecnologías avanzadas que faciliten la clasificación y reciclaje de materiales. En particular, la implementación de sistemas automatizados y técnicas de separación magnética ha demostrado mejorar significativamente la eficiencia en el procesamiento de residuos. Estas innovaciones no solo optimizan la recuperación de materiales valiosos; sino que también reducen el impacto ambiental asociado con la gestión de residuos industriales (Steel-Technology.com, 2024).

El proceso metodológico se puede observar en la Figura 1, y las tres etapas que se alcanzan en este estudio, la identificación de los residuos, la identificación de la normatividad que aplica a los residuos, la clasificación y cuantificación de los residuos, la caracterización de los indicadores procesos, la evaluación de los beneficios de la economía circular y el impacto social en la gestión.



Figura 1. Etapas de la metodología

Fuente: elaboración propia.

El artículo 5, fracción XXIX, de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define como *residuo* al material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (Secretaría de Gobernación, 2003). Los residuos pueden clasificarse de acuerdo con sus características o composiciones, origen o función, en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

La empresa siderúrgica donde se realiza el proyecto es de capital surcoreano, establecida en México desde diciembre de 2006, ubicada en el puerto industrial de Altamira, Tamaulipas, donde su principal actividad es la fabricación y suministro de láminas de acero galvanizado y con una capacidad anual de 900 000 toneladas, principalmente para la industria automotriz y de electrodomésticos.

En dicha empresa se manejan varios tipos de residuos como resultado de sus procesos: peligrosos (RP), sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME), peligrosos biológico-infecciosos (RPBI) o (RP), estos se encuentran definidos en la LGPGIR. A los diversos residuos que genera la empresa se les considera como residuos industriales.

Los residuos industriales son aquellos que provienen de los procesos de fabricación, mantenimiento o consumos como: escombros y materiales afines, los desechos de oficinas y comedores (orgánicos, papel, cartón, plásticos, textiles,

maderas, etcétera), así como los que, por sus características corrosivas, inflamables, reactivas, explosivas, tóxicas o biológico-infecciosas (CRETIB), representan un peligro al ambiente o la sociedad (Expansión, 2008)

De acuerdo con la bitácora reportada por el departamento de seguridad y las áreas que los generan, los tipos de registros son (Tabla 1):

Tabla 1. Tipo de residuos

Nombre	Área o actividad de generación	Forma de almacenamiento	Cantidad kg /año	Tipo
Madera	OA: EMBALAJE	GI Granel a la intemperie	11 080	RSU
Otros (cartón plastificado)	Durante el Proceso Productivo	CM Contenedor metálico	461 800	RSU
Otros (plástico y hule-películas y piezas rígidas)	Durante el Proceso Productivo	Contenedor metálico	23 280	RSU
Residuos de alimentos (orgánicos)	OA: COMEDOR	BP Bolsa plástica	101 640	RSU
Metal ferroso	Mantenimiento	CM Contenedor metálico	7 750	RSU
Lodos provenientes de tratamientos de aguas residuales	SAX Servicios auxiliares	CM Contenedor metálico	131 800	RME
Residuos tecnológicos	Mantenimiento	GT Granel bajo techo	1 110	RME
Aluminio	Mantenimiento	CM Contenedor metálico	300	RME
Total			738 760	

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 se muestra la información tomada de la *Cédula de Operación Anual* para mostrar los volúmenes de residuos de procesos generados en la empresa.

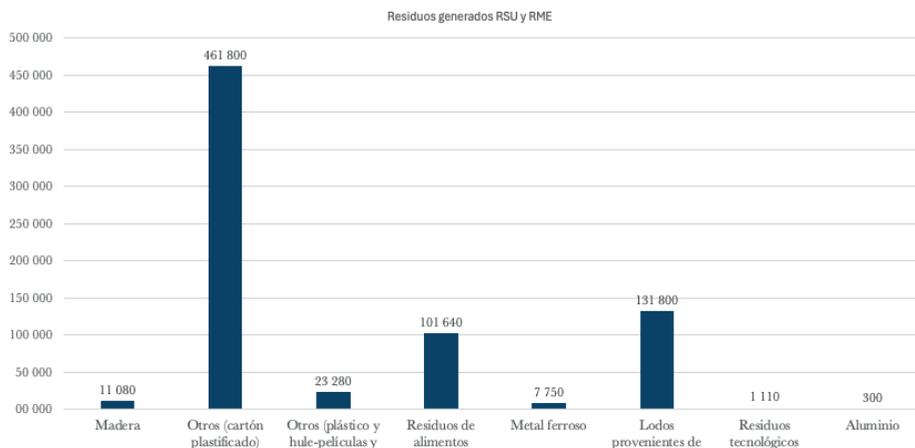


Figura 2. Volumen de residuos

Fuente: elaboración propia.

La *Cédula de Operación Anual* (COA) es un instrumento de gestión creado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que tiene la finalidad de recopilar e integrar la información sobre las emisiones y transferencias de contaminantes al aire, agua, suelo y residuos peligrosos, que los establecimientos reportan anualmente.

Las empresas que deberán reportar a través del formato de la COA son aquellas que realizan actividades de jurisdicción federal en materia de atmósfera, los establecimientos generadores de residuos peligrosos, los que descargan aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas o bienes nacionales, así como las fuentes fijas de jurisdicción federal que cuenten con licencia otorgada por la SEMARNAT.

La información contenida en la COA permite al sector industrial detectar áreas de oportunidad para solucionar problemas específicos en el proceso productivo y también para la planeación ambiental. Debido al enfoque multimedios del formato de la COA, la empresa puede analizar la información y definir prioridades en procesos que promuevan el uso de tecnologías limpias que solucionen problemas ambientales integrales específicos (Secretaría de Gobernación, 2015).

En el tema de residuos, todas las empresas industriales que lo generan deben cumplir con la normatividad, leyes y reglamentos aplicables como:

Leyes y reglamentos:

- La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), que tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medioambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de

la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (PROFEPA, 2016).

Normas Oficiales Mexicanas (NOM):

La Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a *Plan de Manejo*; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo (Secretaría de Gobernación, 2013).

La NOM-052-SEMARNAT-2005 establece características, procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, así como las pruebas analíticas de la prueba CRIT (PROFEPA, 2019).

La NOM-004-SEMARNAT-2002, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (Secretaría de Gobernación, 2003).

La NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (Secretaría de Gobernación, 2021).

La NOM-165-SEMARNAT-2013 establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes (Secretaría de Gobernación, 2014).

La NOM-085-SEMARNAT-2011 establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO²) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire (PROFEPA, 2016).

La NOM-043-SEMARNAT-2011 establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas (Secretaría de Gobernación, 2011).

Resultados

Los resultados de la gestión de residuos implementada en la empresa muestran un claro beneficio económico derivado de la valorización de residuos, como el *scrap* de acero. El reciclaje de acero no solo disminuye los costos operativos al reducir la necesidad de materias primas nuevas; sino que estabiliza los precios en el mercado al incrementar la disponibilidad de materiales reciclados de alta calidad. Esto subraya la importancia de integrar el reciclaje en las operaciones industriales para lograr una economía más resiliente y sostenible (Steel-Technology, 2024).

Se identificaron los materiales a los que aplica la normatividad y que se generan en la empresa, estos son: los aceites lubricantes gastados, aluminio, baterías eléctricas a base de mercurio o de níquel cadmio, biológico infeccioso-objetos punzocortantes, biológico infeccioso-residuos no anatómicos de pacientes, escorias de metales pesados finas, lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, líquidos residuales de procesos no corrosivos, lodos aceitosos, lodos provenientes de tratamientos de aguas residuales, madera, medicamento caduco, metal ferroso, otros (cartón plastificado, plástico y hule-películas y piezas rígidas), residuos de alimentos (orgánicos), residuos tecnológicos, sólidos con metales pesados, sólidos otros (impregnados con hidrocarburos, impregnados con pintura, impregnados con químicos), sustancias corrosivas ácidas, sustancias corrosivas alcalinas y se relacionó con cada norma que le aplica (Tabla 2).

Tabla 2. Normas aplicables a cada residuo

Nombre	Norma aplicable
Aceites gastados lubricantes	NOM-052-SEMARNAT-2005
Aluminio	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Baterías eléctricas a base de mercurio o de níquel cadmio	NOM-052-SEMARNAT-2005
Biológico infeccioso-objetos punzocortantes	NOM-052-SEMARNAT-2005
Biológico infeccioso-residuos no anatómicos de pacientes	NOM-052-SEMARNAT-2005
Escorias de metales pesados finas	NOM-052-SEMARNAT-2005
Lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio	NOM-052-SEMARNAT-2005
Líquidos residuales de procesos no corrosivos	NOM-052-SEMARNAT-2005
Lodos aceitosos	NOM-052-SEMARNAT-2005
Lodos provenientes de tratamientos de aguas residuales	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003 NOM-004-SEMARNAT-2002
Madera	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Medicamento caduco	NOM-052-SEMARNAT-2005
Metal ferroso	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Otros (cartón plastificado)	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003

Nombre	Norma aplicable
Otros (plástico y hule-películas y piezas rígidas)	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Residuos de alimentos (orgánicos)	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Residuos tecnológicos	NOM-161-SEMARNAT-2011 NOM-083-SEMARNAT-2003
Sólidos con metales pesados	NOM-052-SEMARNAT-2005
Sólidos otros (impregnados con hidrocarburos)	NOM-052-SEMARNAT-2005
Sólidos otros (impregnados con pintura)	NOM-052-SEMARNAT-2005
Sólidos otros (impregnados con químicos)	NOM-052-SEMARNAT-2005
Sustancias corrosivas ácidas	NOM-052-SEMARNAT-2005
Sustancias corrosivas alcalinas	NOM-052-SEMARNAT-2005

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron los datos del 2022 con las bitácoras del Departamento de Medioambiente (Figura 3) de acuerdo con la caracterización de los residuos: los residuos de cartón plastificado representan el 62.51 % de los desechos RSU mientras que el aluminio solo el 0.04 % de los residuos. Los RME representan el 18.03 % en comparación con los RSU con 81.97 %.

Paredes (2023) plantea que los residuos sólidos orgánicos que son valorizables representan el 42.94 %, los sólidos inorgánicos aprovechables el 18.86 %, los sólidos inertes el 38.16 % y los aparatos electrónicos el 0.04 %. Se puede observar, en contraste, que un mayor porcentaje de residuos orgánicos tiene una alta valorización en comparación con los RSU de la empresa, que aún no ha sido valorizados.

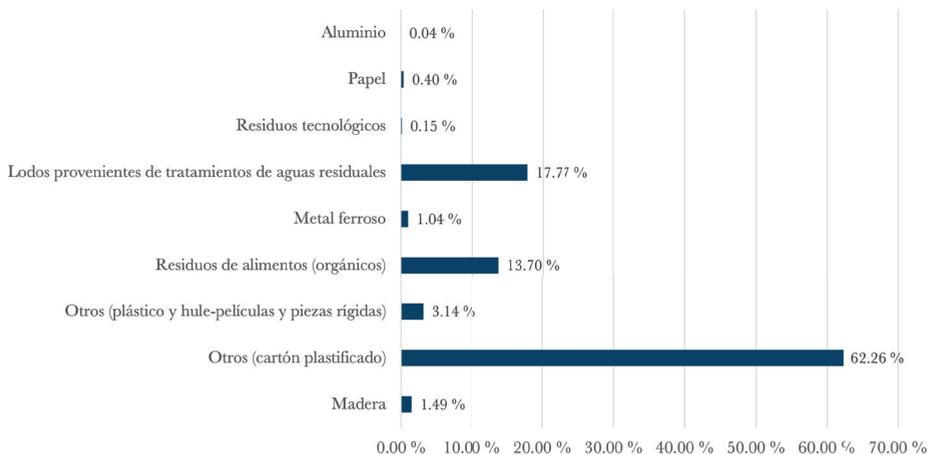


Figura 3. Volumen de residuos generados anualmente

Fuente: elaboración propia a partir de Registros de la empresa basados en la NOM-161-SEMARNAT-2011.

En la Figura 4 se presenta de manera visual los ingresos obtenidos por la valorización de los residuos, mostrando que el mayor porcentaje de ingresos es el *scrap* del proceso como un subproducto del proceso del corte transversal de los rollos de acero, como segundo ingreso el PET y el que tiene menor precio en mercado es el papel y las garrafas de plástico.

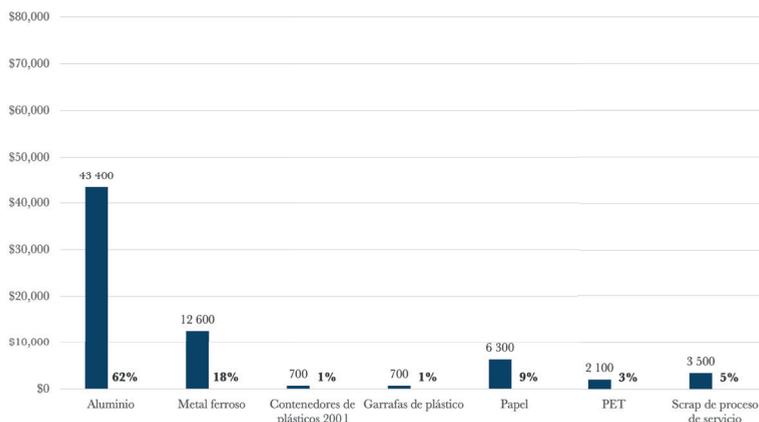


Figura 4. Valorización de los residuos

Fuente: elaborado a partir de bitácoras de registros de la empresa.

La caracterización de los residuos hace posible la valoración e ingresos estimados por la venta de residuos reciclables a compañías recicladoras autorizadas por el gobierno (ver Tabla 3). Los precios unitarios de venta son los ofertados por las compañías cuyo precio es basado en el mercado.

Tabla 3. Valorización de los residuos

Residuo	Cantidad	UOM	Precio unitario	Precio total
Aluminio	300	Kg	\$20.00	\$6 000.00
Metal ferroso	7 750	Kg	\$0.50	\$3 875.00
Contenedores de plásticos 2001	78	Pza.	\$130.00	\$10 140.00
Contenedores metálicos 2001	79	Pza.	\$90.00	\$7 110.00
Garrafas de plástico	184	Pza.	\$5.00	\$920.00
Papel	3 000	Kg	\$0.40	\$1 200.00
PET	4 000	Kg	\$5.00	\$20 000.00
Scrap de proceso de servicio	125	Kg	\$549.44	\$68 680.00
Total (MXN)				\$152 851.96

Fuente: elaborado a partir de bitácoras de registros de la empresa.

Como resultado de dicha proyección, se logró obtener ingresos a la compañía que beneficien a sus programas sociales, que servirá de aportación para capacitaciones e insumos a la comunidad, así como garantizar la conservación ambiental. Pinzón-Castro y Maldonado-Guzmán (2023) mencionan los efectos positivos de la cultura sostenible sobre la ESR de las empresas de manufactura. En comparación, en esta se obtuvo resultados positivos.

Conclusiones

Las etapas del proceso metodológico se alcanzaron en este estudio: la identificación de los residuos, la identificación de la normatividad que aplica a estos y la gestión de los mismos mediante una propuesta de gestión usando la economía circular, con la finalidad de apoyar al medioambiente mejorando el proceso de reciclaje y lograr la sustentabilidad económica para proyectos sociales, lo cual se empareja con el ODS 12 de la Agenda 2030 producción y consumo responsables, y que a su vez se relaciona con el manejo responsable de residuos sólidos y sitios de disposición final de los programas nacionales de desarrollo del país.

Con base en la NOM-161-SEMARNAT-2011, se logró clasificar los residuos generados de cada área de la empresa, siendo el cartón plastificado el que representa el mayor porcentaje de generación con un 62.26 %, los lodos de aguas residuales con un 17.77 %.

Se desarrolló un esquema basado en la ficha de proceso con énfasis en economía circular, donde se establecieron las actividades a realizar desde la identificación, separación, recolección, área de captación, disposición, hasta la obtención de ingresos para beneficios a programas sociales. Se obtuvo una estimación de los beneficios de la EC, con un 62 % siendo el *scrap* del proceso el de mayor valorización.

El cuidado del medioambiente es de gran importancia y está relacionado con el abuso y el desgaste que el ser humano genera en el uso y desecho de materiales. Con este trabajo se pretende evaluar el impacto socioecológico en la gestión de tratamientos de residuos industriales de los procesos de la siderúrgica.

En los procesos se generan materiales residuales reciclables, que pueden rescatar su valor mediante la recuperación y uso racional de los recursos. Actualmente, no se está aprovechando su valorización para beneficiar los programas de responsabilidad social para generar, no solo impactos ambientales positivos, sino también para la comunidad. Desarrollando una evaluación del impacto socioecológico para la gestión de tratamiento de residuos industriales en los procesos, que comprende la identificación de los materiales residuales, hasta la valoración del impacto ambiental y social.

Impulsada por el diseño y sustentada por el uso de energías y materiales renovables, la economía circular revoluciona la forma en que se diseña, produce y consume. El modelo se basa en tres principios: eliminar residuos y contaminación, mantener productos y materiales en uso, y regenerar sistemas naturales.

Trabajos futuros

La economía circular ofrece un marco de soluciones sistémicas para el desarrollo económico, abordando la causa de retos mundiales tales como: cambio climático, pérdida de biodiversidad, incremento de residuos y de contaminación; al tiempo que revela grandes oportunidades de crecimiento.

Una opción de investigación son los residuos que no se pudieron considerar, como el cartón plastificado, que representó el mayor porcentaje de generación, también los lodos residuales, que pueden ser utilizados como fertilizantes y que requiere un análisis de laboratorio para verificar la calidad del lodo para darle un uso adecuado.

Otro posible trabajo a futuro consistiría en llevar a cabo la implementación del procedimiento propuesto a otras empresas, realizando un análisis de la implementación de esta metodología en los diversos casos de prueba y mejorando la adaptación del procedimiento de reciclaje para que sea adoptado con mayor facilidad en los lugares donde se desee ser implementado, así como fomentar la concientización del reciclaje y realizar una captación más grande de residuos con la comunidad para preservación del medio ambiente.

En el ciclo técnico, los materiales y productos fabricados por el humano permanecen en uso el mayor tiempo posible. De este modo, el valor se crea mediante el: intercambio, mantenimiento, reutilización, remanufactura y reciclaje. En el ciclo biológico, después de haber pasado por múltiples usos, los materiales regresan a la naturaleza de forma segura, devolviendo los nutrientes a la tierra y a los ecosistemas naturales (ONU, 2021).

Referencias

- Expansión. (2008, 01 de enero). *Residuos industriales*. <https://expansion.mx/manufactura/articulos-de-interes/residuos-industriales>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático -INECC-. (2007, 11 de noviembre). *Manejo integral de los residuos sólidos*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/133/manejo.html>
- Moguel, E. A. (2005). *Metodología de la investigación*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Organización de las Naciones Unidas -ONU-. (2021, 26 de marzo). *Economía circular, cambio climático, crecimiento y empleo*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>

- Paredes, E. D. (2023). Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos. *Revista de Investigaciones*, 12(1), 43-64. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i1.3984>
- Pinzón-Castro, S. Y. y Maldonado-Guzmán, G. (2023). Effects of Sustainable Culture on CSR and Financial Performance in Manufacturing Industry of Sustainable Culture on Corporate Social Responsibility and Financial Performance in Manufacturing Industry. *Retos*, 13(26), 191-203. <https://doi.org/10.17163/ret.n26.2023.01>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente -PROFEPA-. (2016, 05 de septiembre). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>
- _____. (2016, 12 de septiembre). *Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-085-semarnat-2011>
- _____. (2019). *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005*. Gobierno de México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- Secretaría de Gobernación. (2003, 15 de agosto). *Diario Oficial de la Federación*. DOF: 15/08/2003. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0
- _____. (2011). *Diario Oficial de la Federación*. NOM-085-SEMARNAT-2011. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4632/semarnat/semarnat.htm#:~:text=Establecer%20los%20niveles%20m%C3%A1ximos%20permisibles,proteger%20la%20calidad%20del%20aire>.
- _____. (2013, 1 de febrero). *Diario Oficial de la Federación*. DOF: 01/02/2013. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013#gsc.tab=0
- _____. (2014, 24 de enero). *Diario Oficial de la Federación*. DOF: 24/01/2014. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014#gsc.tab=0
- _____. (2015, 14 de agosto). *Diario Oficial de la Federación*. DOF: 14/08/2015. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5404075&fecha=14/08/2015
- _____. (2021, 10 de mayo). *Diario Oficial de la Federación*. DOF: 10705/2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5617899&fecha=10/05/2021#gsc.tab=0
- Steel-Technology. (s.f.). *Towards zero waste: Innovations in steel recycling and disposal*. <https://www.steel-technology.com/articulos/towards-zero-waste-innovations-in-steel-recycling-and-disposal>
- _____. (s.f.). *Sustainable practices in steel: Environment, recycling, and water management*. <https://www.steel-technology.com/articulos/sustainable-practices-in-steel-environment-recycling-and-water-management>

- Springer. (2022). Circular economy strategy and waste management: A bibliometric analysis in its contribution to sustainable development, toward a post-COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 61729-61746. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-14620-3>
- Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación*. Pearson Educación de México.

5

ESTIMACIÓN DE LOS *FRA* PARA LA SUBCUENCA RH26BA RÍO TAMESÍ

María Luisa Berenice Benito Díaz^{1*}
Esperanza Martínez Cano¹
Ricardo Figueroa Pérez¹

Resumen

La mayoría de las aplicaciones hidrológicas y meteorológicas requieren del conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de la lluvia en un área determinada. La intensidad de la lluvia en un solo punto generalmente es representativa en áreas de influencia pequeñas. Para estimar áreas más grandes o extensas, se debe acudir a métodos que emplean la precipitación pluvial registrada en un gran número de estaciones climatológicas, existentes en la zona de estudio.

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la metodología para la obtención de los Factores de Reducción por Área (*FRA*) por el método de análisis de frecuencias en la subcuenca RH26Ba río Tamesí perteneciente a la cuenca del río Pánuco situada en la vertiente del golfo de México.

La precipitación en la subcuenca RH26Ba río Tamesí se caracteriza por una marcada variabilidad temporal que origina la aparición de fenómenos extremos, y una fuerte variabilidad espacial. En esta investigación, sobre cuyo tema existen publicaciones más formales y exhaustivas, se aplica una metodología sencilla, accesible y a la vez, muy general para el cálculo de los *FRA*, a través de un análisis de simultaneidad. De acuerdo con otros estudios en general, los *FRA* aumentan conforme disminuye el área, aunque no de manera constante. Además, se realizó el agrupamiento de valores de los *FRA* que permitió identificar 3 regiones con características pluviométricas similares dentro de la subcuenca.

Palabras clave: factor de reducción por área, precipitación, intensidad de lluvia, variabilidad espacial de lluvia, análisis de simultaneidad, periodo de retorno.

¹ Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas

* maria.benito@docentes.uat.edu.mx

Introducción

Uno de los aspectos más importantes para el diseño de cualquier obra hidráulica, ya sea para el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos o para la mitigación de sus impactos negativos, es la estimación de la precipitación máxima de la cuenca hidrográfica. El estudio de eventos máximos de precipitación en una cuenca permite evaluar las relaciones entre la altura o profundidad de precipitación pluvial con el área y su duración, con esto es posible establecer un factor que denote el porcentaje de precipitación puntual a tomar como media sobre la cuenca, el cual es conocido como Factor de Reducción por Área (*FRA*) (Ortega y Perozo, 2014). Este concepto fue propuesto en Estados Unidos por primera vez por el por el U.S. Department of Commerce (1957), y actualmente existen importantes investigaciones que valoran diferentes metodologías para el cálculo de los *FRA*'s (Aguilar et al., 2017; Alemaw y Chaoka, 2016; Flammini et al., 2022; Severiano, 2014).

El objetivo de esta investigación es estimar los *FRA* asociados a diferentes periodos de retorno en la subcuenca río Tamesí de la Región Hidrológica 26 del río Pánuco, mediante la aplicación de un método empírico, utilizando datos de precipitaciones pluviales en 24 horas obtenidas del sistema CLICOM (Climatología Computarizada) del SMN (Servicio Meteorológico Nacional).

Metodología

La metodología utilizada para la estimación de los *FRA* correspondió al método de cálculo propuesto por Bell y calculado a partir de la siguiente ecuación (Severiano, 2014):

$$FRA_{BELL} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i P'_{ij})_m}{\sum_{i=1}^n (w_i P_{ij})_m}$$

donde:

n = número de estaciones en el área de estudio.

m = valor del rango del total de estaciones en el área de estudio.

w_i = proporción de la precipitación por área de rango ***m*** del promedio ponderado Thiessen de la lluvia puntual del mismo rango.

P'_{ij} = precipitación máxima anual ocurrida en la estación ***i*** en el año ***j***, en (mm).

P_{ij} = precipitación puntual en la estación ***i*** el día que ocurrió la máxima precipitación media. de la cuenca en el año ***j***, en (mm).

Para este trabajo, el desarrollo del método de Bell se realizó a partir de dos análisis estadísticos, el primero de simultaneidad y el segundo regionalizado. Este último análisis permitió identificar estaciones climatológicas con valores de *FRA* iguales y agrupar en regiones.

Área de estudio

La subcuenca RH26Ba río Tamesí comprende los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, se localiza entre los paralelos 22° 15' y 22° 48' de latitud norte y los meridianos 98° 19' y 98° 23' de longitud oeste, la cual cuenta con una superficie de 7727.41 km² y una densidad poblacional de 96.72 hab/km². La cuenca riega un total de 8 municipios: Altamira, Ciudad Madero, El Mante, González, Tampico y Xicoténcatl en el estado de Tamaulipas; el municipio de Tamuín en San Luis Potosí; y el municipio de Pánuco en Veracruz (ver Figura 1).

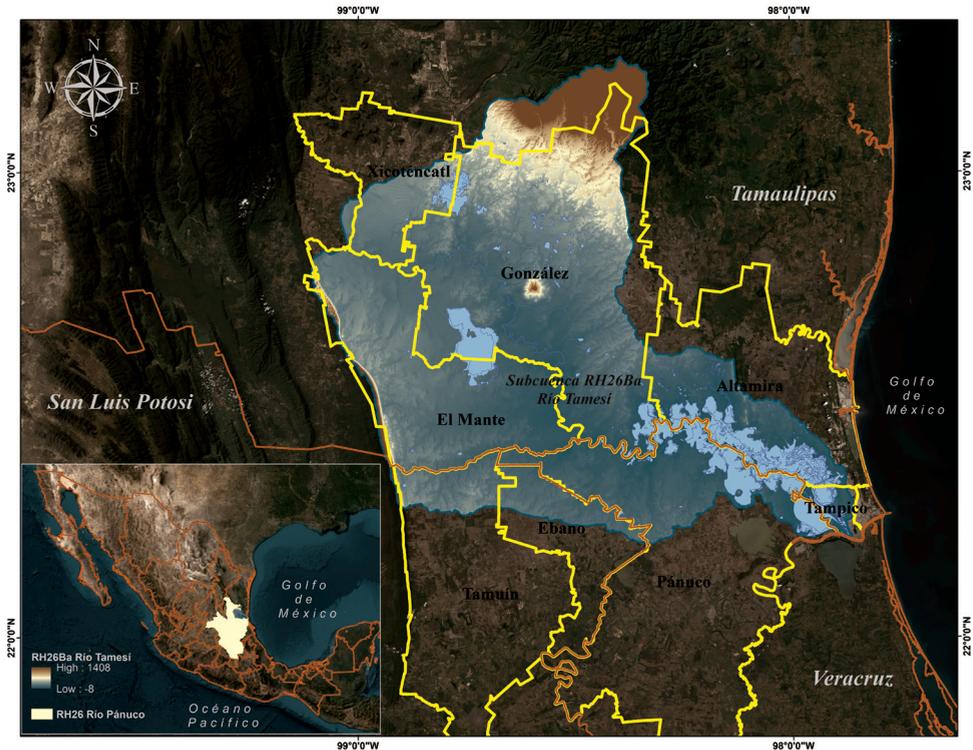


Figura 1. Localización de la subcuenca RH26Ba río Tamesí

Fuente: elaboración propia a partir de la Comisión Nacional del Agua. Cuencas Hidrológicas -CNA- (2008). Escala 1:250 000. México.

Procesamiento de información

Para poder determinar los *FRA* en la subcuenca RH26Ba, fue necesario calcular su área y localizar las estaciones climatológicas que se encuentran dentro y aledañas a la zona de estudio. Inicialmente, se efectúa una depuración de las estaciones con poca o nula información para tratar de estandarizar los registros, se fijó un periodo común para el análisis de 1981 al 2008, contando con 28 años de registro y 29 estaciones climatológicas (Figura 2 y Tabla 1).

Para el análisis estadístico se utilizó la información pluviométrica de la base de datos climatológica CLICOM 2020 (SMN, s.f.), con registros diarios de precipitación en 24 horas. La recopilación de información está conformada por registros anuales diarios para cada estación dentro de la subcuenca RH26Ba río Tamesí. Posteriormente, con la información de los 28 años de registro se realiza una simulación simultánea que consiste en promediar datos diarios del periodo de registro y no simultánea regional con el *software* ***Ax + B 1.3*** (Merlos, 2017) y se extrae la precipitación según el periodo de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años), utilizando la función Gumbel, siendo la mejor ajustada. Finalmente, con la información obtenida se realiza el cálculo del *FRA* para los diferentes periodos de retorno.

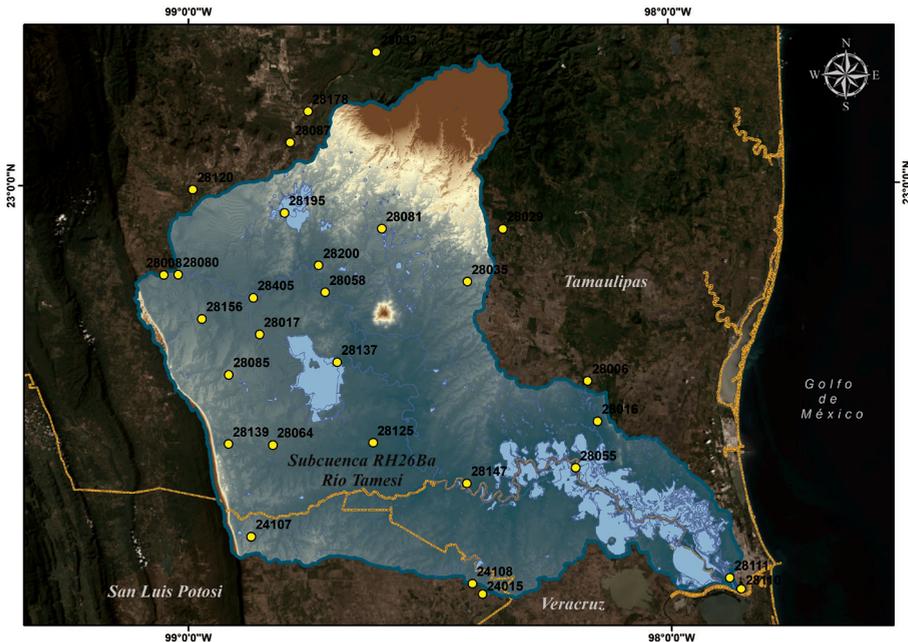


Figura 2. Estaciones Climatológicas de la subcuenca RH26Ba río Tamesí

Fuente: elaboración propia a partir de la Comisión Nacional del Agua. Cuencas Hidrológicas -CNA- (2008). Escala 1:250 000. México.

Tabla 1. Estaciones climatológicas en la zona de estudio

No.	Código estación	Estación	Municipio	X	Y	Elevación (msnm)	Registro (años)
1	24015	Ébano	Ébano	562 769.4	2 456 197.4	55	28
2	24107	El Peñón	Tamuín	513 388.2	2 468 474.3	108	28
3	24108	El Tulillo	Ébano	560 596.3	2 458 402.7	99	28
4	28006	Barberena	Altamira	585 194.6	2 501 802.6	27	28
5	28008	Bellavista	El Mante	494 766.8	2 524 480.5	78	28
6	28016	C. Exp. Cuauhtémoc	Altamira	587 299.2	2 493 179.4	14	28
7	28017	C. Exp. Manuel González	González	515 199.2	2 511 757.1	60	28
8	28029	El Mayab	González	567 065.3	2 534 370.1	1,371	28
9	28033	Francisco Castellanos	Llera	540 096.2	2 572 134.9	193	28
10	28035	González	González	559 521.1	2 523 046.7	60	28
11	28055	Los Tomates	Altamira	582 622.4	2 483 190.2	4	28
12	28058	Magiscatzin (DGE)	González	529 148.8	2 520 743.9	44	28
13	28054	Lázaro Cárdenas	El Mante	517 999.8	2 488 071.5	72	28
14	28080	Río Frío	El Mante	497 845.2	2 524 590.5	60	28
15	28081	Rosillo	González	541 223.0	2 534 388.0	98	28
16	28085	San Felipe	El Mante	508 631.4	2 503 117.7	76	28
17	28087	San Gabriel	Xicoténcatl	521 712.7	2 552 834.3	135	28
18	28110	Tampico (Obs)	Tampico	617 909.8	2 457 291.3	6	28
19	28111	Tampico	Tampico	615 521.0	2 459 709.0	3	28
20	28120	Xicoténcatl	Xicoténcatl	500 922.4	2 542 744.9	85	28
21	28125	Nueva Apolonia	El Mante	539 392.9	2 488 554.1	27	28
22	28137	Las Animas	González	531 745.9	2 505 804.9	60	28
23	28139	El Refugio	El Mante	508 536.9	2 488 284.7	75	28
24	28147	Tamesí	González	559 380.5	2 479 873.1	12	28
25	28156	E.T.A. 067 Ciudad Mante	El Mante	502 874.9	2 515 070.7	91	28
26	28178	La Cañada	Llera	525 490.8	2 559 482.4	170	28
27	28195	San Lorenzo	Xicoténcatl	520 504.2	2 537 777.4	113	28
28	28200	El Lajal	González	527 804.0	2 526 497.7	62	28
29	28405	Saca de Agua	El Mante	513 856.9	2 519 615.3	55	28

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Los resultados de este trabajo de investigación incluyen: el análisis de simultaneidad para los diferentes periodos de retorno, el análisis regional y cálculo del *FRA* por el método de Bell (1976).

Análisis de simultaneidad de la precipitación máxima diaria

De los valores promedio diarios obtenidos se formó una serie de datos de precipitaciones anuales máximas $hp_{máx}$, como se muestra en la Tabla 2. Se hizo un análisis estadístico, relacionando los datos con una función de distribución de probabilidad. En ese caso, la función que observó el mejor ajuste fue la función Gumbel MI . Para la estadística, se efectuó un análisis de los datos empleando el Programa $Ax + B 1.3$ (Merlos, 2017). Así, se obtuvieron las precipitaciones asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 (Tabla 3).

Tabla 2. Precipitaciones máximas anuales para la subcuenca RH26Ba río Tamesí

Año	$hp_{máx}$	Año	$hp_{máx}$	Año	$hp_{máx}$	Año	$hp_{máx}$
1981	54.03	1988	44.35	1995	39.17	2002	41.47
1982	38.01	1989	65.66	1996	51.75	2003	76.09
1983	48.88	1990	110.5	1997	72.04	2004	50.06
1984	46.33	1991	72.08	1998	34.93	2005	62.38
1985	36.07	1992	48.57	1999	69.62	2006	24.23
1986	50.23	1993	105.01	2000	114.82	2007	64.22
1987	60.37	1994	82.8	2001	31.72	2008	83.19

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Precipitaciones obtenidas del análisis de simultaneidad según periodos de retorno

T_r Período de Retorno (años)	$hp_{máx}$ Simultaneidad (mm)	T_r Período de Retorno (años)	$hp_{máx}$ Simultaneidad (mm)
2	55.96	50	122.92
5	77.43	100	136.15
10	91.64	200	264.55
20	105.28	500	296.54

Fuente: elaboración propia.

Análisis regional de la precipitación máxima diaria

Se obtuvieron las precipitaciones anuales máximas para cada una de las 29 estaciones y se estimó la precipitación máxima media ajustada por Gumbel (ver Tabla 4). Con los resultados de los eventos de diseño (periodos de retorno) por estación, se calculó la media de los datos de cada periodo de retorno para las 29 estaciones y con esto se obtuvieron los eventos de diseño promedio del análisis regional (ver Tabla 5).

Tabla 4. Media aritmética por estación según periodo de retorno

Estación	Período de retorno T_R (años)							
	2	5	10	20	50	100	200	500
24015	74.83	99.13	115.22	130.65	150.63	165.60	180.51	200.19
24107	112.41	160.14	191.74	222.05	261.28	290.68	319.97	358.62
24108	84.03	121.09	145.63	169.17	199.64	222.47	245.22	275.23
28006	90.89	132.29	159.69	185.98	220.01	245.51	270.92	304.44
28008	123.08	179.60	217.02	252.92	299.38	334.20	368.88	414.65
28016	87.17	119.01	140.10	160.32	186.49	206.11	225.65	251.43
28017	87.99	132.75	162.38	190.80	227.6	255.17	282.64	318.88
28029	87.62	119.40	140.45	160.63	186.76	206.33	225.84	251.57
28033	68.01	104.13	128.04	150.98	180.67	202.92	225.09	254.34
28035	90.23	150.49	190.39	228.67	278.21	315.33	352.32	401.13
28055	84.75	122.00	146.66	170.32	200.94	223.89	246.75	276.91
28058	87.77	120.16	141.61	162.18	188.81	208.76	228.64	254.87
28054	98.37	141.21	169.58	196.78	232.00	258.39	284.69	319.38
28080	118.04	176.87	215.82	253.18	301.54	337.78	373.88	421.52
28081	86.06	113.81	132.18	149.80	172.62	189.71	206.74	229.21
28085	91.54	129.15	154.05	177.94	208.86	232.03	255.12	285.57
28087	85.95	126.89	154.00	180.01	213.67	238.89	264.02	297.18
28110	82.10	138.12	175.21	210.79	256.84	291.36	325.74	371.10
28111	114.69	152.15	176.95	200.74	231.53	254.61	277.60	307.93
28120	114.69	152.15	176.95	200.74	231.53	254.61	277.60	307.93
28125	96.07	138.76	167.03	194.14	229.23	255.53	281.74	316.31
28137	81.54	103.14	117.43	131.15	148.90	162.20	175.45	192.94
28139	104.78	141.59	165.97	189.35	219.61	242.29	264.88	294.69
28147	86.64	128.78	156.68	183.44	218.07	244.03	269.89	304.01
28156	100.66	142.24	169.77	196.17	230.35	255.96	281.48	315.15
28178	62.76	91.27	110.16	128.27	151.71	169.28	186.78	209.88
28195	92.17	126.08	148.53	170.07	197.95	218.84	239.65	267.11
28200	95.8	136.62	163.65	189.58	223.13	248.28	273.33	306.39
28405	98.11	135.53	160.30	184.07	214.83	237.89	260.85	291.16
Media aritmética	92.72	132.23	158.39	183.48	215.96	240.30	264.55	296.54

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Precipitaciones obtenidas del análisis regional según periodos de retorno

T_r (años) Periodo de retorno	$hp_{máx}$ Regional (mm)	T_r (años) Periodo de retorno	$hp_{máx}$ Regional (mm)
2	92.72	50	215.96
5	132.23	100	240.30
10	158.39	200	264.55
20	183.48	500	296.54

Fuente: elaboración propia.

Determinación de los *FRA*

Finalmente, se calculan los *FRA* por periodo de retorno para el área total de la subcuenca RH26Ba río Tamesí, como el cociente entre los resultados del análisis de simultaneidad y los resultados del análisis regional (ver Tabla 6).

Tabla 6. *FRA*s para la subcuenca RH26Ba río Tamesí, obtenidos por el método de Bell (1976)

T_r Período de retorno (años)	hp Simultaneidad (mm)	hp Regional (mm)	<i>FRA</i>
2	55.96	92.72	0.60
5	77.43	132.23	0.59
10	91.64	158.39	0.58
20	105.28	183.48	0.57
50	122.92	215.96	0.57
100	136.15	240.30	0.57
200	149.33	264.55	0.56
500	166.71	296.54	0.56

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se identificaron 3 subáreas o subregiones de similitud pluviométrica dentro de la subcuenca para estudiar el comportamiento de los *FRA*. Como criterio para determinar cada subárea se utilizó el algoritmo de agrupamiento K-Means con el *software* PAST (Hammer et al., 2001) a partir de la distribución espacial de las estaciones, con la categorización del clúster se obtuvieron los siguientes agrupamientos con $k=3$ (ver Tabla 7).

Tabla 7. Agrupamiento por K-Means a partir de la distribución espacial de estaciones

Estación	Clúster	Estación	Clúster	Estación	Clúster
24107	1	24015	2	28029	3
28008	1	24108	2	28033	3
28017	1	28006	2	28035	3
28054	1	28016	2	28058	3
28080	1	28055	2	28081	3
28085	1	28110	2	28087	3
28125	1	28111	2	28120	3
28137	1	28147	2	28178	3
28139	1	-----	-----	28195	3
28156	1	-----	-----	28200	3
28405	1	-----	-----	-----	-----

Fuente: elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la Tabla 7, se observa el aglomeramiento de las estaciones a partir de la distancia del centroide, lo que conlleva a que exista un balance en la formación de agrupamientos (ver Figura 3).

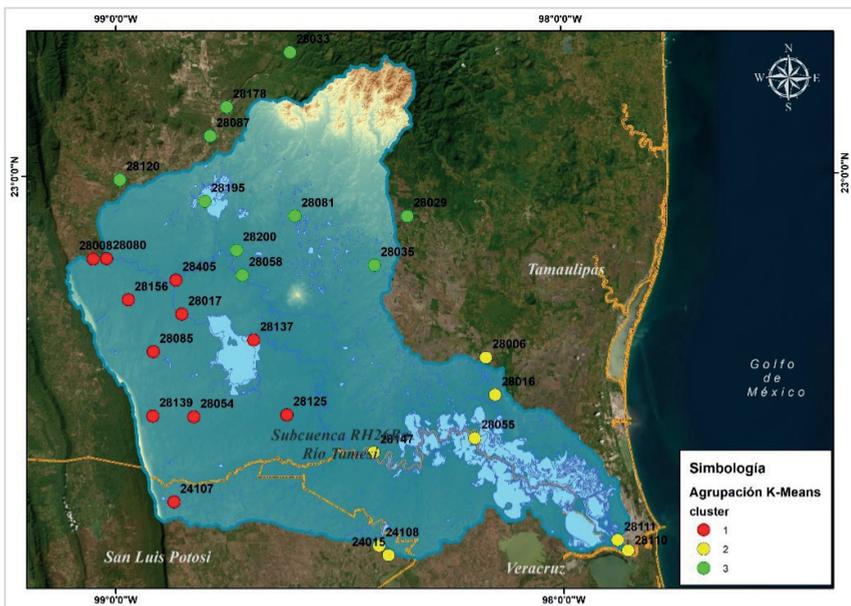


Figura 3. Balance de Agrupamiento por K-Means de estaciones climatológicas de la subcuenca RH26Ba río Tamesí

Fuente: elaboración propia utilizando el sistema ArcGIS.

Además, se buscó que la mayoría de las estaciones quedaran agrupadas considerando condiciones de elevación, red de drenaje, precipitaciones máximas para las 3 subregiones generadas (ver Figura 4). Las estaciones que quedaron fuera por estar alejadas, por su elevación y que no presentan similitud, son: 24015, 28120, 28087, 28178, 28033, 28029, 28006 (ver Figura 4).

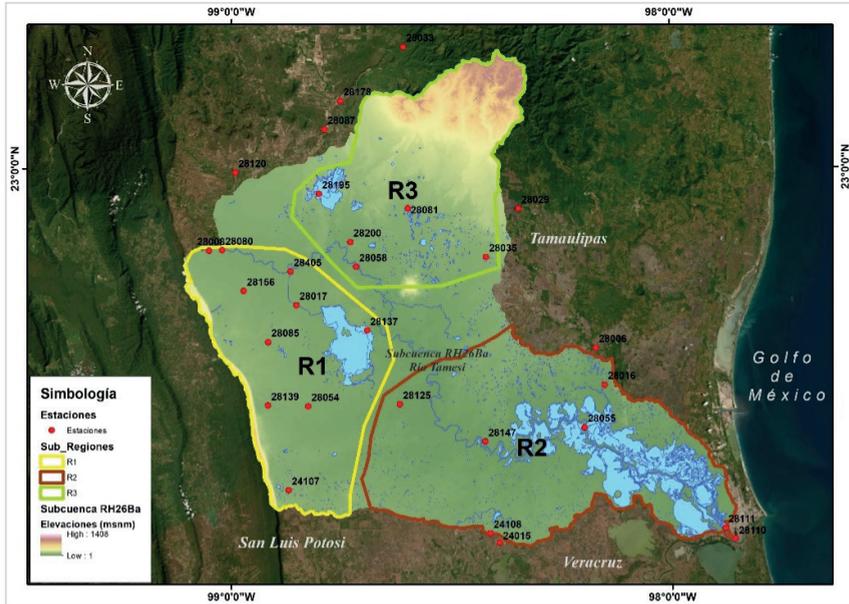


Figura 4. Subregiones de igual similitud identificadas en la subcuenca RH26Ba río Tamesí
Fuente: elaboración propia utilizando el sistema ArcGIS.

En la Tabla 8 se enlistan las estaciones pertenecientes a cada una de las subáreas, el área comprendida y el total de estaciones que pertenecen a cada una.

Tabla 8. Estaciones que definen cada subregión de la subcuenca RH26Ba río Tamesí

Subárea/Subregión	Área (km ²)	Perímetro (km)	Estaciones
R1	1871.54	190.71	28008 28080 28156 28405 28017 28085 28139 28137 28054 24107

Subárea/Subregión	Área (km ²)	Perímetro (km)	Estaciones
R2	2850.29	268.83	28110
			28111
			24108
			28055
			28016
			28147
			28125
R3	1930.42	199.91	28035
			28058
			28200
			28195
			28081

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados, existen algunas variaciones en los factores para diferentes periodos de retorno, tendiendo a disminuir conforme el periodo de retorno aumenta. Los valores de los *FRA* oscilaron entre el 0.5 y 0.6, con tendencia a disminuir conforme aumenta el periodo de retorno, y son influidos por la extensión del área de estudio -aunque la información analizada fue escasa para la subcuenca RH26Ba río Tamesí-. Por lo tanto, se puede concluir que el *FRA* está en función del tamaño del área de análisis. Estos factores tienen correlación con los periodos de retorno y su aplicación es directa sobre estos, multiplicando el *FRA* por la precipitación puntual de diseño con duración de 24 horas, los cuales podrían reducirse de acuerdo con los resultados, de un 60 % hasta un 50 % para periodos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años. Por lo tanto, se establece que el periodo de retorno es un factor significativo al evaluar una obra hidráulica, cuyo destino es el soporte de crecidas o avenidas extraordinarias, como puede ser el vertedor de una presa o un puente (obra en la que se tiene que cruzar un río o arroyo); estos son ejemplos de aplicación de los *FRA* para evitar el sobredimensionamiento de una obra hidráulica.

Trabajo futuro

Los valores de los *FRA* obtenidos para esta subcuenca pueden ser aplicables para otras subcuencas del río Pánuco, siempre y cuando las condiciones de la zona de estudio suelen ser similares, ya que este factor es muy sensible a la densidad de estaciones en el área de estudio, por lo que solo es recomendable usarlo con fines de comparación.

La aportación de este trabajo ha sido la obtención de los *FRA* para la subcuenca RH26Ba río Tamesí. Como extensión podría pensarse en el ajuste de los *FRA* teóricos en otras regiones hidrológicas de Tamaulipas, para usarlos en la determinación de tormentas de diseño que permitan proyectar obras hidráulicas más rentables.

Referencias

- Aguilar, M. Á., Guichard, D. y Muciño, J. J. (2017). Regionalización de precipitaciones máximas en 24 horas en la Región Hidrológica número 23 Costa de Chiapas. *LACANDONIA*, 11(1), 33-46. <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/1823/Regionalizaci%C3%B3n%20de%20precipitaciones%20m%C3%A1ximas%20en%2024%20horas%20en%20la%20Regi%C3%B3n%20Hidrol%C3%B3gica%20n%C3%BAmero%2023%20Costa%20de%20Chiapas.pdf?sequence=1>
- Alemaw, B. y Chaoka, R. (2016). Regionalization of Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves in Botswana. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(12), 1128-1144. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.812088>
- Domínguez, R., Carrizosa, E., Arganis, M. y Esquivel, G. (2016, del 5 al 8 de julio). Factores de reducción por área (FRA) en una región con propositos de diseño [conferencia]. *Décima Quinta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática: CISCI*, Orlando, Florida, U.S.A. <https://www.iiis.org/CDs2016/CD2016Summer/papers/CA732YJ.pdf>
- Flammini, A., Dari, J., Corradini, C., Saltalippi, C. y Morbidelli, R. (2022). Areal reduction factor estimate for extreme rainfall events. *Elsevier*, (10), 285-306. <https://doi.org/doi.org/10.1016/B978-0-12-822544-8.00014-7>
- Hammer, Ø., Harper, D. y Ryan, P. (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*, 4(1), 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Merlos, F. (2017). *Manual de Usuario Ax+B 1.3*. HydroBits. <http://hydrobits.com/>
- Ortega, A. B. y Perozo, M. Á. (2014). Regionalización de factores de reducción por área en una cuenca hidrográfica de Venezuela. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, XXXV(2), 94-106. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n2/riha07214.pdf>
- Servicio Meteorológico Nacional -SMN-. (s.f.). *Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN*. CICESE <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Severiano, M. L. (2014). *Estimación de factores de reducción areal: aplicación a los estados de Durango y Tamaulipas* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000718090>

U. S. Department of Commerce. (1957). *Rainfall Intensity-Frequency Regime. Part I - The Ohio Valley* (Technical Paper No. 29). Washington: Engineering Division. U. S. Department of Agriculture. <https://www.weather.gov/media/owp/oh/hdsc/docs/TP29P1.pdf>

6

PREDICCIÓN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE RESISTENCIA DE UNA MEZCLA DE ASFALTO EN CALIENTE CON RAP COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO MINERAL

Juana Treviño Trujillo¹
Raúl Alejandro Morales Rivera¹
Luis Álvaro Zavala Guerrero¹

Resumen

El pavimento flexible ha experimentado un crecimiento acelerado debido al desarrollo de la industria automotriz y la importancia del transporte por carretera, lo que ha impulsado la investigación en materiales y métodos de pavimentación. La evaluación de materiales asfálticos es esencial para la construcción y mantenimiento de carreteras, ya que su calidad afecta directamente el desempeño a largo plazo de los pavimentos. Se utiliza el agregado de pavimento asfáltico recuperado (RAP, acrónimo del inglés *Reclaimed Asphalt Pavement*), obtenido del reciclaje de materiales asfálticos, lo que reduce el impacto ambiental, conserva recursos naturales y mejora las propiedades de los pavimentos.

La metodología propuesta busca desarrollar un modelo de aprendizaje automático para predecir las propiedades de estabilidad y flujo de una nueva carpeta asfáltica diseñada con el método Marshall, utilizando asfalto modificado y material RAP como sustitutos parciales de agregados minerales convencionales. Se recopilieron datos de caracterización del RAP y valores Marshall para la formación de un conjunto de datos y se utilizan algoritmos de aprendizaje automático. Los resultados muestran que el uso de algoritmos de autoaprendizaje es prometedor para la evaluación y predicción de propiedades de un composite asfáltico. Los modelos 1 y 2 presentaron una precisión aceptable, mientras que el modelo 3 no alcanzó la

¹ Facultad de Ingeniería Tampico de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

precisión adecuada debido al tipo de datos utilizados. Es necesario sintonizar los parámetros de los modelos para mejorar la precisión. Contar con un laboratorio de materiales es una valiosa fuente de información para futuras investigaciones en la aplicación de algoritmos de autoaprendizaje mecánico.

Palabras clave: pavimento, asfalto, reciclaje, aprendizaje automático.

Introducción

El pavimentado y encarpetado con mezclas asfálticas ha experimentado un crecimiento acelerado desde finales del siglo XIX, lo que ha llevado a una intensa investigación en el desarrollo de materiales asfálticos y métodos de pavimentación. En este contexto, se ha buscado mejorar las propiedades de las carpetas asfálticas, como una mayor vida útil, resistencia al agua y a la radiación ultravioleta, capacidad para resistir el intemperismo y mejorar la adherencia de los vehículos; además, se han explorado formas de renovar la adhesión entre el asfalto y el material pétreo, facilitar la reparación de baches y permitir reparaciones a bajas temperaturas (Rodríguez et al., 2001).

La evaluación de materiales asfálticos y los agregados utilizados en mezclas asfálticas es un proceso fundamental en la construcción y mantenimiento de carreteras (Gómez-Mejide y Pérez, 2014), ya que la calidad de estos materiales afecta el desempeño a largo plazo de los pavimentos asfálticos, por lo que es importante contar con métodos confiables y precisos para su evaluación.

El agregado del pavimento asfáltico recuperado (RAP) se obtiene a partir del proceso de reciclaje de materiales asfálticos, que consiste en triturar y moler el asfalto viejo para producir un material de menor tamaño y graduación que pueda ser utilizado en la construcción de nuevos pavimentos. El uso del agregado de asfalto recuperado en la construcción de carreteras ofrece ventajas como la reducción del impacto ambiental y la conservación de recursos naturales (Rodríguez et al., 2001). Además, el agregado de asfalto recuperado puede mejorar las propiedades de los pavimentos asfálticos, como la resistencia al agua y al impacto (Garnica et al., 2005).

El pavimento asfáltico se enfrenta a esfuerzos generados por el tráfico, la temperatura y la humedad, lo que puede causar deformaciones y desgaste. Por ello, es esencial un diseño y construcción adecuados que le permitan resistir estas cargas de manera efectiva.

De acuerdo con datos del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el método Marshall es el más usado en la práctica para el diseño de mezclas asfálticas en México. Es ampliamente reconocido en la industria por su versatilidad y la portabilidad del equipo, ya que es posible realizar acciones de control de calidad en

campo. Sin embargo, tiene limitaciones en comparación con métodos más actuales como el Hveem (que produce mezclas de asfalto en caliente) y el SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavement*, por sus siglas en inglés).

El objetivo principal de esta investigación es proponer una metodología que permita desarrollar un modelo basado en algoritmos de aprendizaje automático para predecir propiedades de estabilidad y flujo de una carpeta asfáltica nueva diseñada bajo el método Marshall, utilizando asfalto modificado y material RAP como sustitutos parciales de agregados minerales convencionales. Para este fin, se recopilaron datos obtenidos de un análisis exhaustivo de las características físicas y químicas de los componentes del asfalto recuperado a muestreos de carpetas asfálticas previamente realizados siguiendo la normativa vigente de la Secretaría de Infraestructura de Comunicaciones y Transportes (SICT).

El asfalto y el pavimento asfáltico

El pavimento asfáltico o superficie de rodamiento está compuesto por diferentes capas, cada una con su función específica. La base o sustrato proporciona una superficie firme sobre la que se construye el pavimento. La capa de mezcla asfáltica, conformada por asfalto y agregados, otorga resistencia y durabilidad al pavimento. El revestimiento de rodadura ofrece una superficie lisa y uniforme para la circulación de vehículos. Finalmente, la capa de sellado o adherencia mejora la unión entre las distintas capas del pavimento y protege contra la infiltración de agua (AASHTO, 2013).

Según la Asociación de Asfalto de Estados Unidos (Asphalt Pavement Association, 2020), el asfalto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de carreteras debido a su durabilidad, resistencia al desgaste y facilidad de reparación. Además, es relativamente económico y fácil de obtener en comparación con otros materiales de construcción.

Los materiales asfálticos encuentran aplicación en diversas formas: elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones. Se utilizan como aglutinante de los materiales pétreos, como ligante entre las diferentes capas del pavimento o como estabilizante en bases y subbases (Norma: M-MMP-4-05-006/00, 2000). Estos materiales se clasifican como se muestra en la Tabla 1, de acuerdo con el vehículo empleado para su aplicación o incorporación:

Tabla 1. Clasificación de los materiales asfálticos

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

Fuente: M-MMP-4-05-006/00 de la SICT.

Algoritmos de aprendizaje automático y la librería TensorFlow

Las técnicas de aprendizaje automático, también conocidas como *machine learning* en inglés, son un conjunto de algoritmos que buscan generar modelos abstractos de alto nivel a partir de datos con variables de entrada y resultados conocidos. Estos algoritmos utilizan arquitecturas computacionales que admiten transformaciones no lineales, múltiples e iterativas de los datos, expresados mediante tensores (Bengio et al., 2013).

TensorFlow es una poderosa biblioteca de *software* de código abierto, diseñada para el aprendizaje automático mecanizado. Esta librería es versátil y se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones y lenguajes de programación, como Python, JavaScript, C++ y Java. Su enfoque se centra en trabajos de estadística inferencial e inteligencia artificial. Inicialmente desarrollada por Google, Inc. para su uso interno en labores de desarrollo e investigación, TensorFlow fue liberada como *software* de código abierto (FOSS) (Tensorflow, 2015). Desde entonces, se ha convertido en una herramienta popular y ampliamente utilizada en el campo del aprendizaje automático.

Evaluación de materiales asfálticos mediante el uso de algoritmos de autoaprendizaje

La evaluación de materiales asfálticos es una etapa crítica en la construcción y mantenimiento de carreteras (Gómez-Mejjide y Pérez, 2014), la calidad de estos materiales influye directamente en el rendimiento a largo plazo de los pavimentos asfálticos, por lo que es esencial contar con métodos precisos y confiables para su evaluación.

En los últimos años, el desarrollo de algoritmos de autoaprendizaje ha permitido automatizar y mejorar la precisión en la evaluación de materiales en diversas aplicaciones. Estos algoritmos se basan en el aprendizaje automático, una rama de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender a partir de datos y llevar a cabo tareas sin necesidad de una programación explícita. Se pueden clasificar en dos categorías principales, los supervisados y los no supervisados.

En el caso de los algoritmos supervisados, se entrenan con un conjunto de datos que ya han sido etiquetados, es decir, datos que están previamente clasificados o categorizados. Estos algoritmos pueden aprender de los etiquetados y aplicar ese conocimiento para realizar tareas de clasificación y predicción.

Por otro lado, los algoritmos no supervisados se entrenan con un conjunto de datos no etiquetados, es decir, datos que no tienen clasificaciones previas. Estos algoritmos son capaces de aprender de los no etiquetados, descubrir patrones y relaciones ocultas, lo que les permite realizar tareas de agrupamiento.

En el contexto de la evaluación de materiales asfálticos, los algoritmos de autoaprendizaje pueden ser empleados, tanto en tareas supervisadas como no supervisadas. Por ejemplo, en una tarea supervisada, un algoritmo de autoaprendizaje podría ser entrenado con un conjunto de datos etiquetados que incluya diferentes tipos de materiales asfálticos y sus respectivas propiedades. Posteriormente, el algoritmo podría utilizarse para clasificar y predecir las propiedades de nuevos materiales asfálticos.

En una tarea no supervisada, el algoritmo podría ser entrenado con un conjunto de datos no etiquetado que contenga diversas muestras de materiales asfálticos y sus propiedades correspondientes. Una vez entrenado, el algoritmo podría agrupar las muestras de acuerdo con similitudes en sus propiedades y descubrir patrones y relaciones ocultas entre ellas.

En conclusión, el uso de algoritmos de autoaprendizaje en la evaluación de materiales asfálticos ofrece ventajas significativas, como la automatización del proceso, la mejora de la precisión y la capacidad de descubrir patrones y relaciones ocultas en los datos. Esto permite una evaluación más eficiente y precisa de los materiales asfálticos, contribuyendo a mejorar el rendimiento a largo plazo de los pavimentos asfálticos.

Metodología

La metodología propuesta en este trabajo se fundamenta en el empleo de algoritmos de autoaprendizaje, una rama de la inteligencia artificial que posibilita la automatización y mejora en la precisión de la evaluación de materiales. Las etapas de la metodología se muestran en la Figura 1.

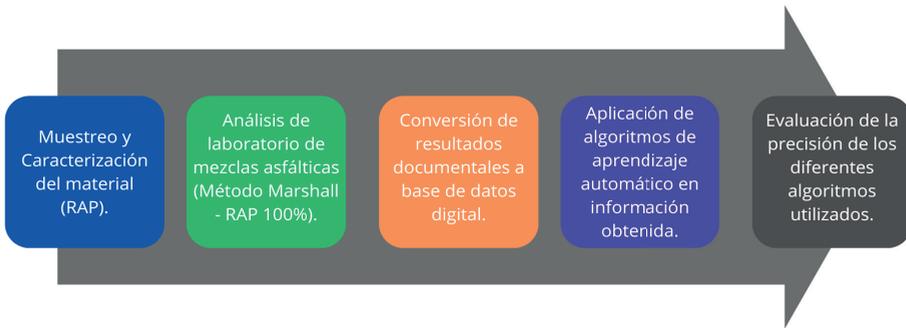


Figura 1. Etapas de la investigación

Fuente: elaboración propia.

Preselección y delimitación de los datos

En el diseño de mezclas asfálticas, históricamente, el método Marshall ha sido ampliamente difundido y aceptado. Sin embargo, en la actualidad, la confiabilidad de sus resultados ha sido cuestionada (Garnica et al., 2005). En Estados Unidos de América, el método de dosificación de mezclas más utilizado es el denominado SUPERPAVE. Este fue diseñado como parte del programa de investigación en carreteras SHRP (*Strategic Highway Research Program*, por sus siglas en inglés) para evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica a lo largo del tiempo, y considerando otros aspectos importantes en su desempeño. A pesar de ello, en esta investigación se optó por el método Marshall modificado debido a su naturaleza empírica, ya que se considera que los datos obtenidos son más representativos para un sistema automatizado capaz de realizar pruebas y ajustes en campo.

En el procedimiento de diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall, se observan dos aspectos clave de los especímenes preparados:

Densidad y análisis de vacíos: se evalúa la densidad de la mezcla y se analiza la cantidad de aire presente en la misma.

Prueba de estabilidad y flujo: se realizan pruebas para determinar la estabilidad y flujo de la mezcla, lo que proporciona información sobre su capacidad para soportar cargas y resistir deformaciones bajo el tráfico vehicular.

El método Marshall establece los requisitos necesarios en cuanto a granulometría y parámetros volumétricos de la mezcla. Estos requisitos están diseñados para un contenido de aire del 4 % y se basan en los volúmenes de tránsito estimados para la vida útil del pavimento (Asphalt Institute, 1996), teniendo en cuenta agregados que cumplen con las normativas de la SICT.

Los datos de muestreo y caracterización de muestras de material asfáltico recuperado (RAP) en esta investigación, fueron obtenidos en conformidad con

los siguientes lineamientos establecidos por la Secretaría de Infraestructura de Comunicaciones y Transportes (SICT):

1. El muestreo del material asfáltico recuperado se realizó conforme al manual M-MMP-4-05-001, Muestreo de Materiales Asfálticos de la SICT.
2. Para la obtención de los datos de entrada se realizó la caracterización de las muestras de RAP conforme a las normas N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, del libro *CMT. Características de los Materiales*, Parte 4 *Materiales para pavimentos*, de la Secretaría de Infraestructura de Comunicaciones y Transportes.

Preselección de variables de entrada y salida

Independientemente del método de diseño de mezclas asfálticas utilizado, el proceso de diseño siempre sigue las siguientes etapas básicas:

- Selección del agregado a utilizar.
- Selección del tipo de asfalto.
- Compactación de los especímenes de prueba.
- Cálculo de los parámetros volumétricos de los especímenes.
- Determinación del contenido de asfalto óptimo.

Dado que los algoritmos seleccionados requieren valores numéricos para realizar las evaluaciones pertinentes, se eligieron las siguientes variables de entrada:

De la caracterización del material RAP:

- Porcentaje de gravas.
- Porcentaje de arenas.
- Porcentaje de finos.
- Granulometría.
- Porcentaje de asfalto en la muestra.

De los datos obtenidos de la aplicación del manual del método Marshall para mezclas asfálticas de granulometría densa:

- Porcentaje de asfalto agregado.
- Constante de anillo.
- Altura de espécimen.

Y para las variables de salida se seleccionaron los datos de “estabilidad” y “flujo” característicos de las probetas elaboradas bajo el método Marshall.

Muestreo del RAP

El material RAP utilizado fue muestreado por alumnos de la Facultad de Ingeniería Tampico de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, siguiendo la normatividad y métodos aplicables. Las ubicaciones de las tomas de las muestras fueron:

1. Tramo de la carretera González-Hidalgo km. 15+600 en Tamaulipas.
2. Tramo de la carretera Tampico-Mante, km. 49 del poblado de Esteros en Altamira, Tamaulipas.
3. Calle Laguna del Chairel en la colonia “Pescadores” del municipio de Tampico, Tamaulipas.
4. Estacionamiento de la Facultad de Ingeniería Tampico, del Centro Universitario Sur de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

El material fue trasladado adecuadamente y almacenado en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Tampico.

Caracterización del RAP y construcción del conjunto de datos base

La caracterización del RAP se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Tampico, conforme a los métodos y procedimientos establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en las normas N-CMT-4-05-001, Calidad de Materiales Asfálticos, y N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Selección y caracterización del RAP:

- Se prepararon 4 diferentes muestras de RAP para su análisis, revisando su estado para asegurar que no exista contaminación en las mismas.
- Se caracterizaron y evaluaron estas muestras de RAP para asegurar su cumplimiento con los requisitos establecidos para materiales pétreos, de acuerdo con las normas vigentes de la SICT.

Preparación de los especímenes:

- Se produjeron 15 especímenes por cada muestra de RAP conforme al procedimiento descrito en el documento D1559 *Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus* de la ASTM, para las cuales se añadieron diferentes porcentajes y tipos de asfalto a los especímenes.

Pruebas de estabilidad y flujo:

- Se llevaron a cabo las pruebas de estabilidad y flujo correspondientes sobre los especímenes preparados.

Organización de los datos:

- Todos los datos obtenidos durante la caracterización del RAP y los valores Marshall se organizaron en un archivo digital.
- Se aplicó un proceso de normalización a los datos para asegurar su consistencia y comparabilidad.

La formación del conjunto de datos base utilizada en esta investigación, se llevó a cabo a partir de los resultados normalizados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a estos 60 especímenes elaborados mediante el método Marshall modificado, los cuales al ser muestreos de diferentes zonas presentan variaciones en los parámetros de entrada, como son los porcentajes de gravas, arenas, finos, asfalto, en la muestra de RAP, así como el valor de asfalto agregado.

En la Figura 2 se observa una matriz de correlación entre las variables de entrada y salida de estabilidad y flujo del conjunto de datos obtenidos, esta representación visual permite apreciar las relaciones existentes entre las diferentes variables involucradas en el estudio, lo cual es fundamental para comprender su influencia en el comportamiento de las mezclas asfálticas y guiar el proceso de selección de variables relevantes para los algoritmos a evaluar.

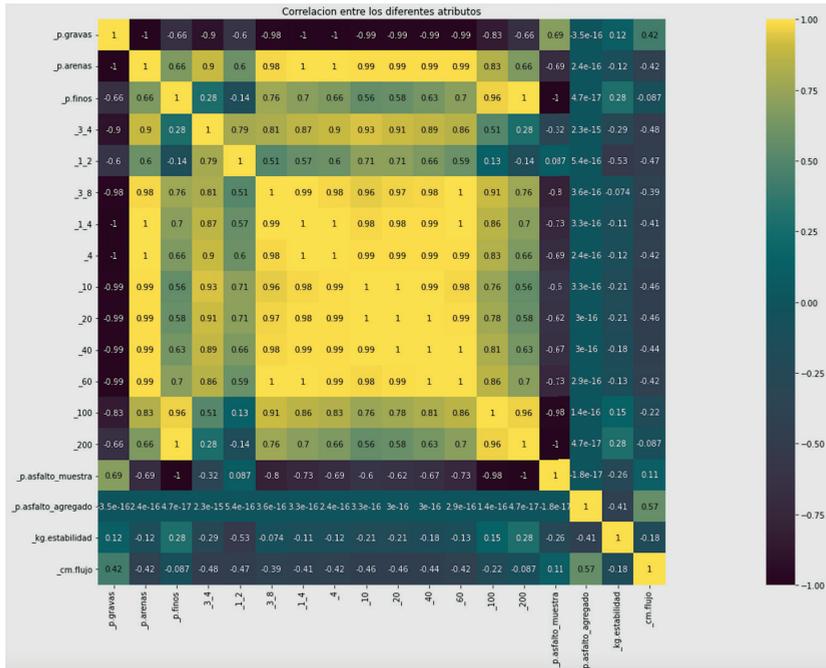


Figura 2. Mapa de correlación. Parámetros normalizados de la base de datos fuente Fuente: elaboración propia.

Implementación de técnicas de aprendizaje automático en Python para la predicción de propiedades asfálticas

El lenguaje de programación seleccionado para la ejecución de los algoritmos mecanizados de autoaprendizaje fue Python utilizando la IDE Visual Studio Code en Windows 10. Las librerías auxiliares que se eligieron para el manejo de los datos fueron: Pandas, Scikit-learn, Torch, Numpy y pyForest, y la librería principal para el análisis de los datos fue TensorFlow.

La base de datos normalizada se dividió en dos utilizando el módulo *train_test_split* de la librería sklearn, quedando de la siguiente manera:

- Conjunto de datos para entrenamiento del modelo predictivo (85 %).
- Conjunto de datos para evaluación de las predicciones (15 %).

Para el análisis de los datos de entrada descritos anteriormente, se seleccionaron varios modelos de aprendizaje automático. La elección de estos modelos se basó en las características de los datos de entrada, el número de variables involucradas y el tipo de información que se pretende analizar. Se seleccionaron modelos de regresión basados en técnicas de aprendizaje automático, como el bosque aleatorio de decisión, meta-estimadores AdaBoost y árboles de decisión simples. Estos modelos se entrenaron con sus configuraciones estándar, utilizando los datos de entrada y salida como datos de entrenamiento, y se validaron los resultados de las predicciones obtenidas comparadas con el conjunto de datos para la evaluación de las predicciones.

Evaluación del Modelo 1: bosque de decisiones aleatorio (*random forest*)

Un bosque de decisiones aleatorios (*random forest*) es una técnica de aprendizaje automático supervisada basada en árboles de decisión. Este algoritmo utiliza un conjunto de árboles de decisión combinados pero independientes, donde diferentes “árboles” ven de manera independiente diversas porciones de los datos, y así ninguno ve todos los datos de entrenamiento. Esto ocasiona que cada árbol se entrene con distintas muestras de datos para un mismo problema, así, al combinarse los resultados, los errores son compensados y se tiene una mejor predicción generalizada.

Como se observa en la Figura 3, los resultados obtenidos con el Modelo 1 muestran un índice de rendimiento (*performance score*) de 85.56 % en los datos de entrenamiento, y 65.96 % en los datos de validación. El error cuadrático medio (ECM) fue de 0.007958, y la precisión general del modelo fue de 65.96 %. Estos resultados indican que el modelo tiene un desempeño aceptable en la predicción de

las propiedades de estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas utilizando los datos de entrada proporcionados.

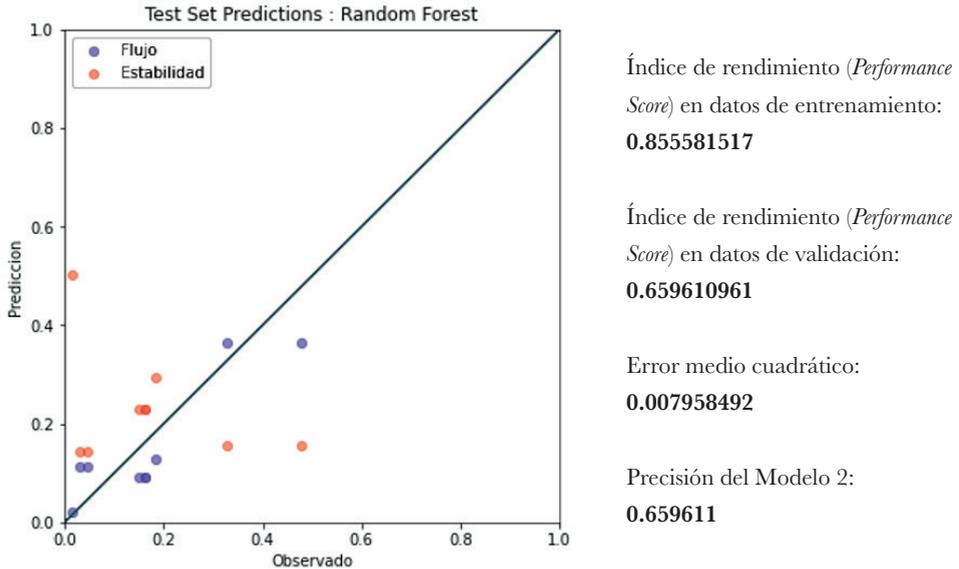


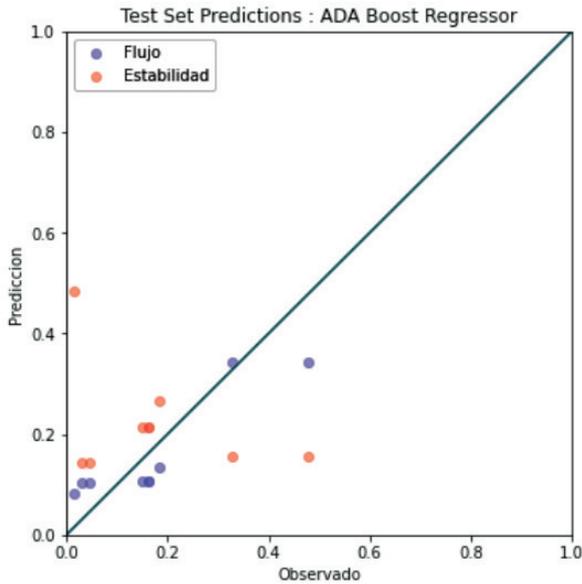
Figura 3. Resultados obtenidos de la aplicación del Modelo 1

Fuente: elaboración propia.

Evaluación del Modelo 2: meta-estimador AdaBoost

AdaBoost (*adaptive boosting*) es una técnica de aprendizaje automático que consiste en crear una secuencia lineal de predictores sencillos conocidos como “clasificadores débiles simples”, los cuales trabajan en serie y se enfocan en los datos que fueron erróneamente clasificados por el predictor anterior, logrando así un algoritmo adaptable.

El Modelo 2 obtuvo un índice de rendimiento (*performance score*) de 86.09 % en los datos de entrenamiento, lo cual es ligeramente superior al Modelo 1, lo que indica un mejor ajuste a los datos; sin embargo, en los datos de validación se tiene un resultado considerablemente inferior, de 43.31 %, lo que sugiere un desempeño más pobre al predecir nuevos datos. El ECM de 0.007696 es comparable al del Modelo 1, indicando una precisión de predicción similar.



Índice de rendimiento (*Performance Score*) en datos de entrenamiento:

0.860853552

Índice de rendimiento (*Performance Score*) en datos de validación:

0.433097570

Error medio cuadrático:

0.007696284

Precisión del Modelo 2:

0.668465

Figura 4. Resultados obtenidos de la aplicación del Modelo 2

Fuente: elaboración propia.

Evaluación del Modelo 3: árbol de decisiones simple

Los árboles de decisión son una técnica de aprendizaje automático, formada por “nodos” con conexiones organizadas en forma de árbol, donde los nodos intermedios (ramas) representan soluciones, y los nodos finales (hojas) representan las predicciones del modelo.

El Modelo 3 obtuvo los mismos valores de índice de rendimiento (*performance score*) que el Modelo 2, tanto en los datos de entrenamiento (86.09 %) como en los de validación (43.31 %). Sin embargo, su ECM de 0.013585 es significativamente mayor que el de los otros dos modelos, lo que indica una menor precisión en las predicciones. Estos resultados sugieren que el Modelo 3 no es adecuado para predecir las propiedades de estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas utilizando los datos de entrada proporcionados.

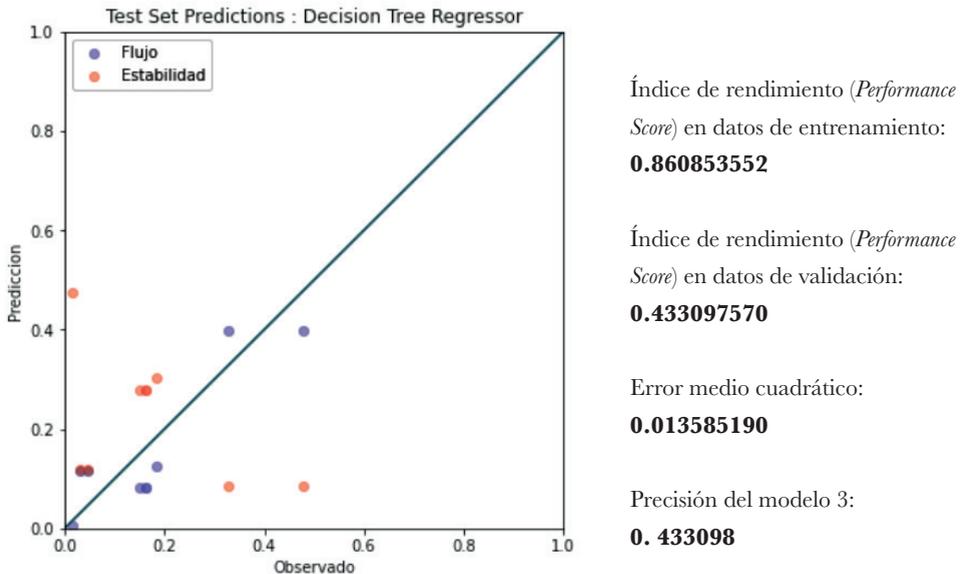


Figura 5. Resultados obtenidos de la aplicación del Modelo 3

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El uso y aplicación de algoritmos de autoaprendizaje para la evaluación y predicción de las características finales de materiales compuestos es una opción relativamente sencilla, eficiente y práctica, siempre que se disponga de información histórica adecuada proveniente del análisis de laboratorio. Este enfoque elimina la necesidad de desarrollar manualmente fórmulas o modelos matemáticos tradicionales, los cuales aumentan de complejidad dependiendo de la cantidad de variables de entrada y salida, así como las relaciones entre ellas.

En cuanto a los modelos evaluados, tanto el Modelo 1 como el Modelo 2 obtuvieron una precisión por encima del 65 %, la cual se considera aceptable; sin embargo, el Modelo 1 basado en un bosque aleatorio de decisiones mostró la mejor capacidad predictiva en los datos de validación. Por el contrario, el Modelo 3 no logró alcanzar una precisión adecuada, lo que sugiere que este tipo de algoritmo no es idóneo para el conjunto de datos utilizado.

Los resultados obtenidos ofrecen una visión prometedora sobre el potencial de estas tecnologías para la predicción de propiedades de materiales compuestos. Los algoritmos de autoaprendizaje demostraron una capacidad notable para procesar la información presente en el conjunto de datos, generando predicciones con una precisión aceptable y con la gran ventaja de ser escalables y funcionar sin interacción

humana más allá de la generación de los datos de entrada y la configuración de los parámetros de ejecución, destacando su capacidad para reducir los tiempos de análisis y procesamiento de la información. Sin embargo, estos hallazgos son parte de un proceso continuo de investigación y desarrollo en este campo, y su validez puede estar sujeta a futuras investigaciones y análisis.

Es fundamental destacar la importancia del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Tampico como un recurso invaluable para la generación de información empírica sobre materiales y procesos. Este recurso no solo facilita investigaciones futuras en la aplicación de algoritmos mecánicos de autoaprendizaje, sino que también promueve el avance en la comprensión y optimización de materiales compuestos.

Referencias

- AASHTO. (2013). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*.
- Acevedo, L. K. (2022). *Método Aashto y Método Shell en el diseño de espesores para pavimentos flexibles*. Huancayo-Junín.
- Asphalt Institute. (1996). *Manual MS-2 Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot Mix Types* (6.ª ed.). Asphalt Institute.
- Asphalt Pavement Association. (2020). *What is Asphalt?*. <https://www.asphaltpavement.org/about-asphalt/what-is-asphalt>
- Bengio, Y., Courville, A. y Vincent, P. (2013). Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1798-1828.
- Blanco, R., Rodríguez, R., García-Garduño, M. y Castano, V. M. (1996). Rheological properties of styrene-butadiene copolymer-reinforced asphalt. *Journal of Applied Polymer Science*, 61(9), 1493-1501.
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J. A. y Delgado, H. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas* (Publicación técnica No. 267). Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Gómez-Meijide, B. y Pérez, I. (2014). A proposed methodology for the global study of the mechanical properties of cold asphalt mixtures. *Materials & Design*, 57, 520-527.
- Hernández, G., Rodríguez, R., Blanco, R. y Castaño, V. M. (1997). Mechanical properties of the composite asphalt-styrene-butadiene copolymer at high degree of modification. *International Journal of Polymeric Materials*, 35(1-4), 129-144.
- Issa, R., Zaman, M. M., Miller, G. A. y Senkowski, L. J. (2001). Characteristics of cold processed asphalt millings and cement-emulsion mix. *Transportation Research Record*, 1767(1), 1-6.

- Kandhal, P. S. y Mallick, R. B. (1997). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - Participant's Reference Book* (Publicación No. FHWA-SA-98-042). Washington: Auburn University, U.S. Department of Transportation.
- Lu, X. y Isacson, U. (1997). Characterization of styrene-butdiene-styrene polymer modified bitumens-comparison of conventional methods and dynamic chemical analyses. *Journal of Testing and Evaluation*, 25(4), 383-390.
- Monroy, M., León, J. F. y Ramos, M. A. (2020). *Monografía del uso de RAP (pavimentos asfáltico reciclados) para la rehabilitación de vías urbanas del municipio de Girardot-Cundinamarca* [Tesis de grado, Corporación Universitaria Minuto De Dios]. Repositorio institucional UNIMINUTO.
- Norma: M-MMP-4-05-006/00. (2000). Capítulo: 001. Calidad de Materiales Asfálticos. En *MMP. Métodos de muestreo y pruebas de materiales, Título: 06. Materiales, Asfálticos, Aditivos y Mezclas*. SCT.
- Rodríguez, R., Castaño, V. M. y Martínez, M. (2001). *Emulsiones asfálticas*. (Documento Técnico No. 23). Queretaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Tensorflow. (2015, 9 de noviembre). *TensorFlow: Open source machine learning* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=oZikw5k_2FM
- Yan, J., Zhu, H., Zhang, Z., Gao, L. y Charmot, S. (2014). The theoretical analysis of the RAP aged asphalt influence on the performance of asphalt emulsion cold recycled mixes. *Construction and Building Materials*, 71(30), 444-450. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814010071>

7

PRESTADOR DE SERVICIOS: HACIA LA OFERTA DE SERVICIOS A TRAVÉS DEL DISPOSITIVO MÓVIL

Ángel Anastasio Hernández Hernández¹
Salvador Wilfrido Nava Díaz^{1,*}
Gabriel Chavira Juárez¹

Resumen

México enfrenta una descomposición social y ambiental, por lo que elementos como la cultura y la memoria colectiva se utilizan como una estrategia de cambio. El CONAHCYT y el Programa Nacional Estratégico de Cultura buscan el reconocimiento de memorias, saberes, tecnologías y prácticas generadas desde la diversidad cultural para comprender los problemas del país y encontrar soluciones integrales. El avance tecnológico ha transformado la forma en que las personas manejan su vida personal y laboral, y las aplicaciones móviles son un claro ejemplo de ello. Estas aplicaciones se desarrollan para facilitar tareas cotidianas como educación, comunicación, finanzas y viajes; por ejemplo, Duolingo, Facebook, Capital One y Airbnb. Las aplicaciones móviles surgieron a finales de los años 90 y han tenido un aumento significativo debido al desarrollo de la tecnología *Edge* y de la conexión a Internet. En la actualidad, el uso de aplicaciones móviles ha ido en aumento debido a sus beneficios en el entorno social y ambiental, por lo que se desarrolla una aplicación móvil a manera de prototipo que permita a las personas encontrar y ofertar servicios como carpintería, mecánica, transporte de mudanza, entre otros. Para el desarrollo de la aplicación, se ha utilizado el diseño investigación-acción, que trabaja mediante iteraciones controladas, recolección de datos del desarrollo y análisis de nuevas propuestas. Además, se ha empleado el estilo de diseño Material Design 2, fuentes tipográficas, archivos gráficos libre de *copyright*, y Android Studio para su desarrollo, al igual de su importancia con la interacción humano-computador. Todo esto, con el objetivo de utilizar la tecnología

¹Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*snava@docentes.uat.edu.mx

y la cultura para generar cambios positivos en México en donde las aplicaciones móviles desempeñan un papel importante al facilitar la vida diaria de las personas.

Palabras clave: cultura digital, tecnología, aplicación móvil, interfaces móviles, interacción humano computador.

Introducción

Desde hace varios años, México vive una situación de descomposición del tejido social y ambiental, por lo que se buscan elementos estratégicos como la cultura y la memoria colectiva como impulso de nuevos cambios para el país. El CONAHCYT y el Programa Nacional Estratégico de Cultura tiene como objetivo motivar el reconocimiento de las memorias, saberes, tecnologías, expresiones y prácticas generadas desde la diversidad cultural y biocultural para comprender mejor los problemas que afectan a México. Con base en ello, genera nuevas soluciones integrales, profundas y amplias que consideren la pluriculturalidad nacional (CONAHCYT, 2023).

El avance tecnológico ha cambiado la manera en que las personas manejan su vida personal y laboral. Las aplicaciones móviles son una prueba de ello. El familiarizarse con esta tecnología ha ayudado a mejorar y a simplificar la vida, pues son programas diseñados para ejecutarse en dispositivos inteligentes como teléfonos, tabletas electrónicas, relojes y computadoras; algunos ejemplos son: Duolingo, Facebook, Capital One y Airbnb (Indeed Editorial Team, 2022).

A finales de la década de 1990 surgieron las primeras aplicaciones móviles, como la agenda, juegos, mensajería y muchas otras. Todas estas cumplían con funciones básicas y esenciales; además, tenían un diseño bastante simple. Tras la llegada de la tecnología *Edge* (Datos Mejorados para la Evolución del GPRS) y de la conexión a Internet, trajo consigo un mayor aumento en el desarrollo de aplicaciones móviles. Para el 2007, la empresa Apple presentó su primer teléfono móvil de nombre iPhone junto a una tienda para descargar aplicaciones, permitiendo que empresas y desarrolladores externos ofrecieran sus programas dentro de esta. En ese mismo año, Google y HTC presentaron el primer teléfono móvil con el sistema operativo Android, de igual manera, acompañado de una tienda de aplicaciones (Aplicaciones móviles, s.f.).

Hoy en día, el uso de aplicaciones móviles ha tenido beneficios; por ejemplo, la reducción de residuos físicos, movilidad, acceso a la información, servicios, comunicación, etcétera. Asimismo, permite a las personas ofertar y encontrar servicios diversos; además de conocer aspectos importantes como: calidad, puntualidad, experiencia, costo y disponibilidad de los proveedores de servicios, con el fin de destacar entre la competencia. De igual manera, se evita que los posibles consumidores tengan dificultades para encontrar información clara y confiable sobre las prestaciones que ofrecen.

Metodología

Se optó por emplear la investigación-acción para el desarrollo de sistemas de información e ingeniería de *software*, con el fin de iterar el proceso de desarrollo.

French y Bell (1996) definen la investigación-acción como:

el proceso de recopilar de forma sistemática datos de la investigación acerca de un sistema actual en relación con algún objetivo, meta o necesidad de ese sistema; de alimentar de nuevo con esos datos al sistema; de emprender acciones por medio de variables alternativas seleccionadas dentro del sistema, basándose tanto en los datos como en las hipótesis; y de evaluar los resultados de las acciones, recopilando datos adicionales.

Para esto, la metodología investigación-acción (Ruiz, 2003) brinda una serie de pasos que permiten llevar a cabo el proceso del estudio, que son:

1. Planificación: identificar el problema que guie al investigador a relacionarse con la investigación.
2. Acción: simular soluciones del problema de manera cuidadosa, deliberada y controlada.
3. Observación: tomar nota de lo que está sucediendo.
4. Reflexión: compartir y analizar los resultados obtenidos con el objetivo de crear nuevas propuestas.

Igualmente, esta metodología es utilizada en la gestión de mantenimiento de *software* para conseguir cambios efectivos durante el proceso. Por otro lado, se ha aprovechado el estilo de diseño Material Design 2 (Next University, 2022) de la empresa Google, que brinda una guía completa y una serie de componentes gráficos para el desarrollo de las interfaces de usuario junto al Entorno de Desarrollo Íntegro (IDE) Android Studio (Isaac, 2022), para crear aplicaciones Android, junto con el Lenguaje de Marcado Extensible (XML) (CompuHoy, s.f.) para la creación de archivos de diseño. Al igual que fuentes tipográficas de esta y archivos gráficos libres de derecho de autor para su edición. Asimismo, se ha considerado que para acceder a cualquier servicio en línea se debe contar con un módulo de registro e inicio de sesión para acceder a las funcionalidades: configuraciones, editar perfil, notificaciones, publicaciones, entre otras más.

De acuerdo con lo mencionado, se contemplan los siguientes módulos para el desarrollo de la aplicación:

1. Bienvenida
2. Inicio de sesión
3. Registro

4. Menú principal (*Dashboard*)
5. Editar perfil
6. Mis servicios
7. Editar post
8. Buscar servicios
9. Detalles del servicio
10. Cerrar sesión

Algo que hay que considerar al desarrollar interfaces de usuario, es que es el punto principal de interacción y comunicación humano/computadora, por lo que es muy importante diseñar una interfaz intuitiva y bien organizada que permita una navegación eficiente (Churchville, 2020).

Resultados

De acuerdo con las secciones anteriores, se ha realizado el siguiente diseño y codificación de la aplicación. Se utiliza el teléfono Xiaomi Redmi Note 11 con Android 12.



Figura 1. Bienvenida

Fuente: elaboración propia.

Pantalla de bienvenida con el nombre de la aplicación (Figura 1), cada vez que los usuarios hacen uso de esta, se ejecuta dando como inicio la presentación y posteriormente se pasa al módulo *Inicio de sesión*.



Figura 2. Inicio de sesión
Fuente: elaboración propia.

El módulo *Inicio de sesión* cuenta con dos campos: el primero es para el correo electrónico y el segundo para la contraseña (Figura 2). Además de un botón para iniciar con el proceso de inicio de sesión, por último, un texto que envía al usuario al apartado de *Registro* para que se registre en caso de que no posea una cuenta.

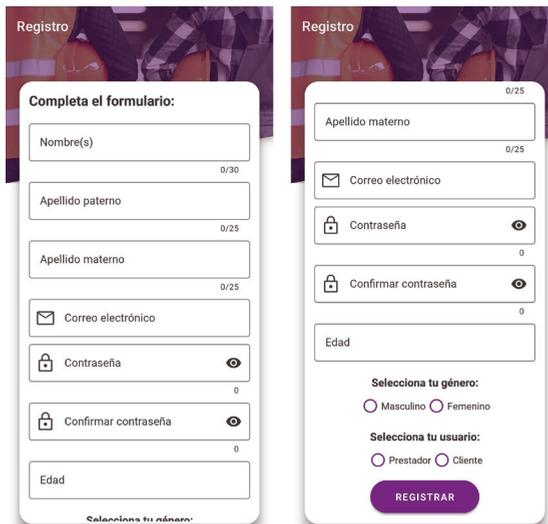


Figura 3. Registro
Fuente: elaboración propia.

En la sección de *Registro* se encuentra un formulario con diversos campos que deben ser llenados para completar el registro (Figura 3). Además, un botón que realiza el proceso de validación de los datos para completar el proceso.



Figura 4. Menú principal para el usuario prestador (a) y Menú principal para el usuario cliente (b)

Fuente: elaboración propia.

Una vez iniciada la sesión, accede al *Menú principal (Dashboard)*, según corresponda al tipo de usuario registrado, que puede ser prestador (Figura 4a) o cliente (Figura 4b). Dicho menú cuenta con diversas opciones que son de utilidad para su navegación

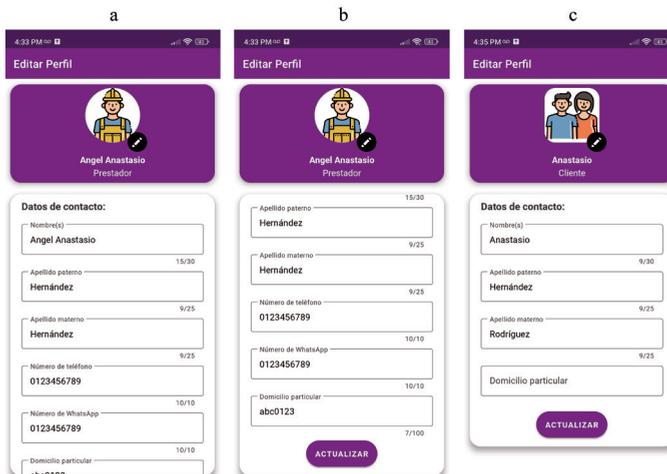


Figura 5. Editar perfil para el usuario prestador (a) y (b), y Editar perfil para el usuario cliente (c)

Fuente: elaboración propia.

Al acceder a la sección *Editar perfil*, el usuario prestador (Figura 5a y 5b) y cliente (Figura 5c) tienen la posibilidad de realizar cambios a su información. El usuario prestador puede agregar más información con el fin de proporcionarla en cada uno de sus servicios.

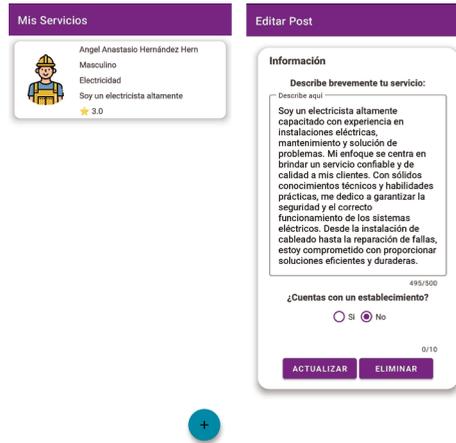


Figura 6. Mis servicios para el usuario prestador
Fuente: elaboración propia.

En el módulo *Mis servicios*, el proveedor visualiza una lista de los servicios que este presta; además que puede editar las publicaciones (Figura 6). Por último, cuenta con un botón que lo envía al apartado de *Publicar servicio*.

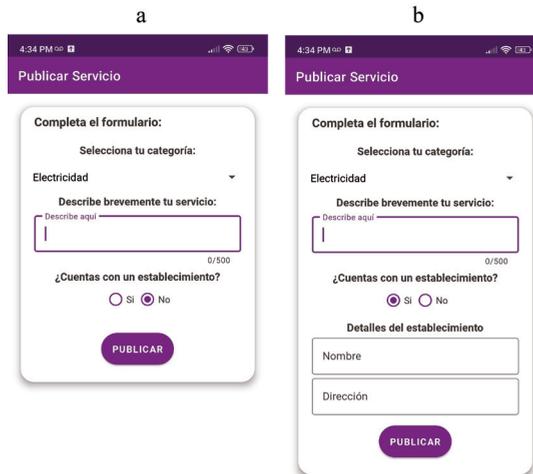


Figura 7. Publicar servicio por parte del usuario prestador (a) y (b)
Fuente: elaboración propia.

Dentro de *Publicar servicio*, el prestador cuenta con un formulario que llena para publicar su oficio (Figura 7a y 7b).

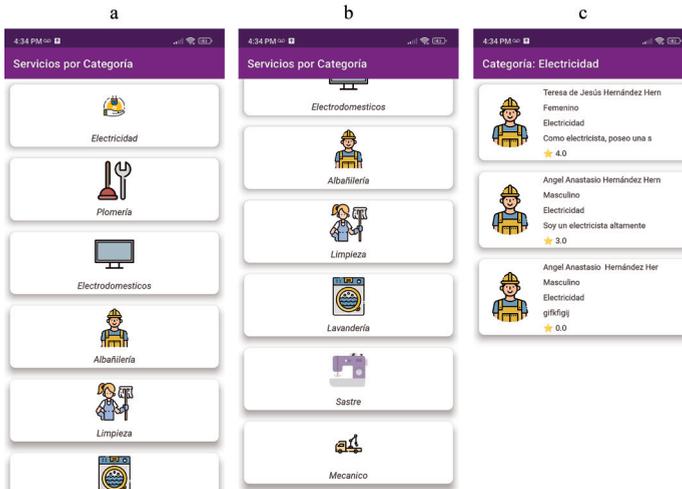


Figura 8. Buscar servicios para el usuario prestador y cliente (a), (b) y (c)

Fuente: elaboración propia.

En la sección *Buscar servicios*, ambos usuarios visualizan una serie de categorías, dentro de esta se encuentra una lista de proveedores con información relevante para los posibles consumidores (Figura 8a, 8b y 8c).

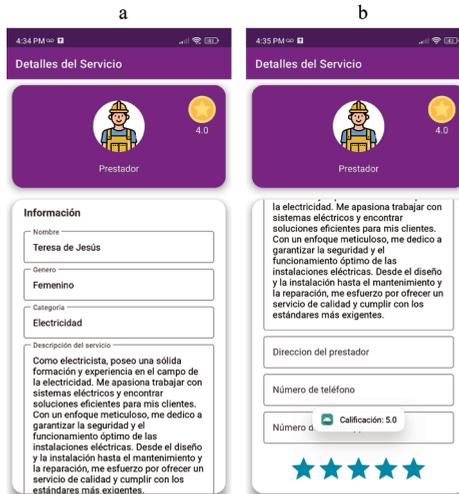


Figura 9. Detalles del servicio (a) y (b)

Fuente: elaboración propia.

En *Detalles del servicio*, ambos usuarios (Figura 9a y 9b) observan información más completa de los proveedores, por ejemplo, información personal, del oficio y de la calificación de éste. Por último, un *RatingBar* para calificar el servicio.

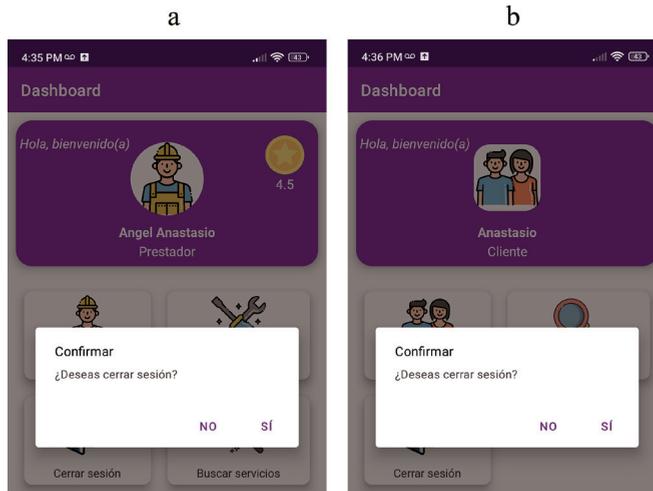


Figura 10. Cerrar sesión para el usuario prestador (a) y cerrar sesión para el usuario cliente (b)
Fuente: elaboración propia.

Por último, desde el *Menú principal (Dashboard)*, el usuario prestador (Figura 10a) y cliente (Figura 10b) pueden cerrar sesión y confirmarlo al seleccionar algunas de las dos opciones que aparecen en la ventana emergente, al seleccionar “Sí”, se cierra la sesión y la aplicación finaliza, en caso contrario, no sucede nada.

Conclusiones

El avance tecnológico y el uso generalizado de las aplicaciones móviles ha cambiado la manera en que las personas manejan su vida, por lo tanto, la presente investigación busca aprovechar estas oportunidades simplificando los diferentes aspectos del día a día. Además del impacto positivo que tienen las aplicaciones móviles, el entorno social y ambiental.

El proceso de desarrollo de la aplicación se ha basado en la investigación-acción, permitiendo una iteración cuidadosa y controlada del desarrollo del sistema. Al igual que el uso del estilo de diseño Material Design 2 que proporciona una guía completa y componentes de diseño de interfaces junto a archivos tipográficos y gráficos. Además del *IDE* Android Studio y del lenguaje de marcado XML, haciendo énfasis en la interacción humano-computadora.

Los resultados obtenidos muestran el diseño de las diferentes secciones de la aplicación, como la pantalla de bienvenida, el inicio de sesión, registro, menú principal, edición de perfil, gestión de servicios, búsqueda de servicios, detalles del servicio y, por último, el cierre de sesión. Dichas secciones han sido diseñadas considerando las necesidades de los usuarios prestadores de servicios y clientes, y se han enfocado en proporcionar una experiencia intuitiva y eficiente.

Este desarrollo se presenta a manera de prototipo. Sin embargo, ofrece una base sólida que puede satisfacer las necesidades de los prestadores de servicios y de los clientes.

Trabajo futuro

Considerando el desarrollo de la aplicación, existen diversas áreas en las que se puede mejorar con el objetivo de ofrecer una solución más completa:

1. Mejora de la interfaz de usuario. Proporcionar una interfaz de usuario intuitiva y atractiva que garantice una experiencia más fluida y satisfactoria. Para esto, se podrían realizar pruebas a usuarios y recopilar sus comentarios. Con base en esta retroalimentación, mejorar el diseño de la interfaz de usuario.
2. Añadir nuevas funciones. La incorporación de un generador de contratos, métodos de pago, geolocalización y un *chat* en tiempo real, brindaría una mejor experiencia y comunicación entre el proveedor y el cliente. De igual manera, un filtro de búsqueda de proveedores mediante diversos parámetros, un sistema de calificaciones más detallado junto a un apartado de reseñas que genere más confianza al momento de solicitar un servicio.
3. Adaptación a otros dispositivos y plataformas. Tomando en cuenta la gran variedad de dispositivos que existen en el mercado, sería interesante adaptar la aplicación a otros dispositivos como tabletas electrónicas y relojes inteligentes. Asimismo, a otras plataformas; por ejemplo, Windows y iOS, permitiendo a los usuarios acceder a la aplicación desde diferentes medios.
4. Mejorar el código de programación. Un aspecto muy importante es el código de programación que permite el funcionamiento de la aplicación, por lo que sería recomendable optimizar el código haciéndolo más eficiente y consuma menos recursos, mejorando el rendimiento de la aplicación.

Referencias

- Aplicaciones móviles. (s.f.). *Origen de las aplicaciones*. <https://appsmovilescavucm.wordpress.com/origen/>.
- Churchville, F. (2020, septiembre). *Interfaz de usuario (UI)*. ComputerWeekly.es. <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Interfaz-de-usuario-UI>
- CompuHoy. (s.f.). *¿Por qué se usa XML en Android Studio?* <https://www.compuhoy.com/por-que-se-usa-xml-en-android-studio/>.
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías -CONAHCYT-. (2023). *Cultura - Conahcyt*. <https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-cultura/>
- French, W. L. y Bell, C. H. (1996). *Desarrollo organizacional: Aportaciones de las ciencias de la conducta para el mejoramiento de la organización*. Hispanoamericana.
- Indeed Editorial Team. (2022). *What is a mobile app? (With definition, types and examples)*. Indeed Career Guide. <https://uk.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-mobile-app> (visitada en enero de 2023).
- Isaac. (2022). *Android Studio: Qué es y para qué sirve*. AndroidAyuda. <https://androidayuda.com/android-studio/>
- Next University. (2022). *Material Design: ¿Qué es?*. <https://www.nextu.com/blog/material-design-que-es/>
- Ruiz, F. (2003). *MANTIS: Definición de un entorno para la gestión del mantenimiento de software* [Tesis de doctorado, Universidad de Castilla-La Mancha]. Repositorio RUIdeRA.

8

APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA PARA EL MONITOREO DE DESAZOLVE EN LA LAGUNA DEL CHAMPAYÁN EN ALTAMIRA, TAMAULIPAS

Susan Margarita Maldonado Robert^{1,*}
Héctor Manuel Sánchez García¹
Felipe Sosa Perez¹

Resumen

La fotogrametría se ha utilizado desde finales del siglo XIX con el nacimiento de la fotografía misma. Actualmente, se emplean técnicas de captura de imágenes, mediante dispositivos móviles o aéreos y el procesamiento con *software* especializado de fotogrametría, que realiza de forma automática aerotriangulaciones que permiten combinar las fotos para obtener información útil como: nubes de puntos, mapas, ortofotográficos y modelos 3D.

La fotogrametría ha sido definida por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS, por sus siglas en inglés) como el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y el entorno a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante registrada y otros fenómenos (Karl, 2007). La fotogrametría permite reconstruir la posición, orientación, forma y tamaño de objetos de imágenes. Estas pueden originarse como imágenes fotoquímicas (fotografía convencional).

En el siglo XXI, la fotogrametría se complementa con técnicas de visión por computadora y el uso de drones. Este es un campo de conocimiento emergente que se ocupa del proceso de adquirir, procesar y analizar imágenes con el objetivo de crear información “útil”. La computadora comprende las imágenes de una manera

¹Facultad de Ingeniería Tampico (FI), Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

* susan.maldonado@docentes.uat.edu.mx

que puede producir múltiples tipos de información. Similar a la fotogrametría, este campo está en el corazón de muchas otras tecnologías emergentes; inteligencia artificial, aprendizaje automático, psicología y otras (Foster, 2014).

Actualmente se llevan a cabo actividades de desazolve de la Laguna del Champayán en el municipio de Altamira, Tamaulipas, hecho que permite poner a prueba las tecnologías en el desarrollo y seguimiento, a través de la obtención de imágenes georreferenciadas y modelos digitales de superficie con los cuales se puede comparar las diferentes etapas realizadas.

Palabras clave: fotogrametría, ortofotografía, drones, *software*, topografía.

Introducción

La zona de estudio se encuentra en Altamira, Tamaulipas, en las coordenadas UTM zona 14, al norte: 2475705.80 y al este: 609907.79. Altamira cuenta con 269 790 habitantes (INEGI, 2020). Se localiza en la carta topográfica del INEGI F14B73 y F14B74 escala 1:50 000 y se encuentra en la zona de baja sismicidad, que pertenece a la región hidrológica N° 26 (río Pánuco) dentro de la cuenca R. Tamesí (INEGI, s.f.).



Figura 1. Mapa de Localización del área de estudio en la Laguna del Champayán en Altamira, Tamaulipas

Fuente: elaboración propia a partir de SIG.

La Laguna del Champayán es un cuerpo de agua dulce que alimenta a la zona industrial y doméstica del municipio de Altamira, Tamaulipas, por medio de dos bocatomas: Dima e Hidalgo. Esta laguna anteriormente contaba con profundidades promedio de 0.40 m a 0.90 m. En septiembre del 2022 se da inicio a trabajos de desazolve, donde se pretendía obtener de 3 a 3.5 metros de profundidad, con la finalidad de obtener el mayor almacenamiento. A continuación, se explica la metodología para la obtención de áreas del material desazolvado en la Laguna del Champayán por medio de monitoreos constantes con vehículos aéreos no tripulados como los drones, que proporcionan ortofotos para la toma de decisiones futuras en este proyecto.

Metodología

Procedimiento de levantamiento fotogramétrico

El proceso fotogramétrico se realiza mediante el *software* PIX4D MAPPER, para obtener la ortofotografía y controlar las actividades de desazolve realizadas en la Laguna del Champayán en Altamira, Tamaulipas. Este procedimiento permite simplificar las actividades de levantamiento topográfico mediante los procedimientos tradicionales con estación total o el equipo de GNSS-RTK.

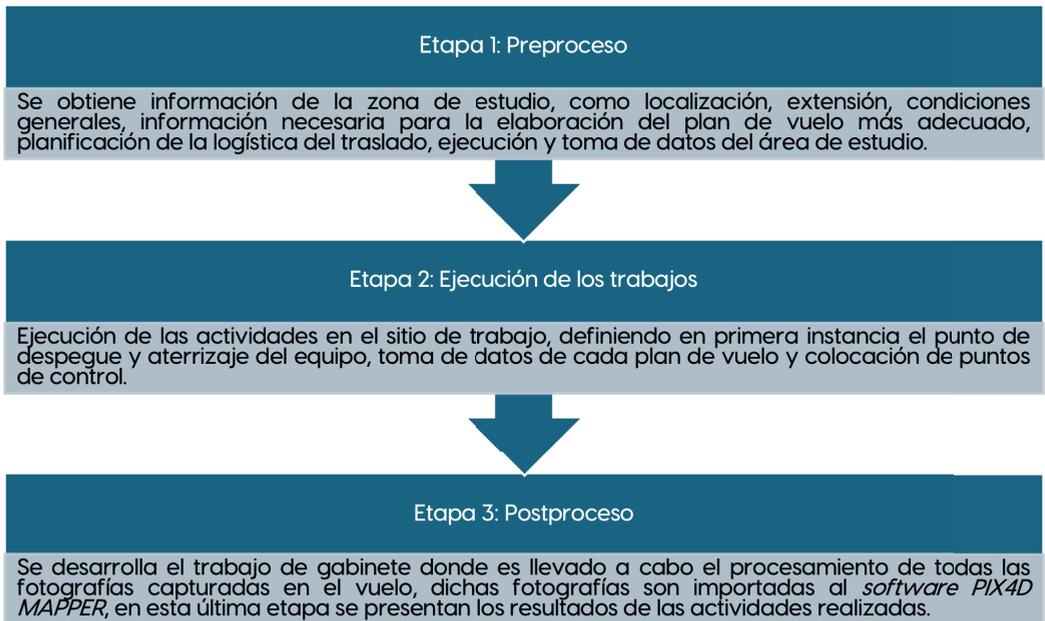


Figura 2. Etapas de las actividades

Fuente: elaboración propia.

Etapa 1: Preproceso

Planificar el plan de vuelo es el proceso con mayor importancia para la obtención y calidad para los resultados. Se definen indicaciones de vuelo, como velocidad, altura máxima o mínima del dron, traslape de imágenes y el área que se necesita cubrir de acuerdo con la necesidad del proyecto. El área de levantamiento de plan de vuelo cuenta con una superficie de 15 hectáreas, debido a que es un área irregular y, para efectos de referencia, se trazó un polígono con 7 vértices para cubrir la mayor área posible de desazolve (Figura 3).

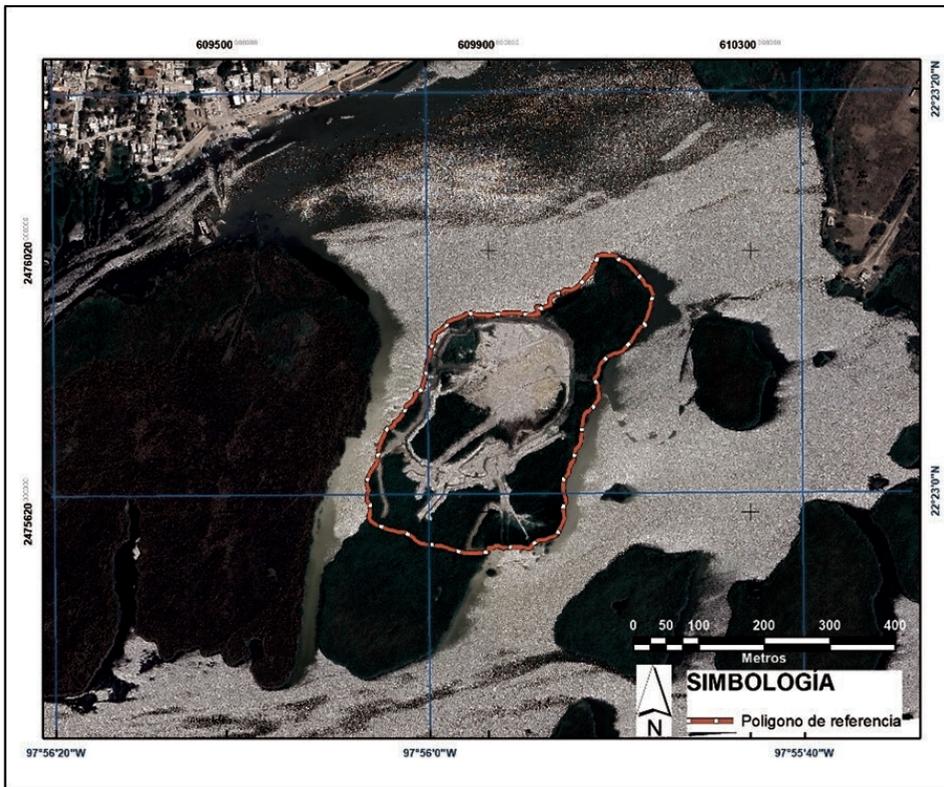


Figura 3. Polígono de referencia para plan de vuelo fotogramétrico

Fuente: elaboración propia a partir de un sistema de información geográfica.

Los elementos más importantes para la planeación de un vuelo con vehículos aéreos no tripulados es el área para levantar datos y la resolución requerida en las especificaciones de proyecto, estos dos determinan la altura del vuelo, velocidad del vehículo, el porcentaje de traslape de las imágenes, considerando las condiciones heterogéneas u homogéneas del área de estudio. Para efecto de aspectos de

seguridad en el manejo de vehículos aéreos no tripulados, se consideró la NOM-107-SCT3-2019, como lo establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La planeación del vuelo programado se realizó con la plataforma de DJI-PRO, considerando un traslape frontal del 75 %, traslape lateral del 65 %, a una altura de vuelo de 120.00 m, con un modo de captura *Equal Time Interval*, como se muestra en las siguientes imágenes.

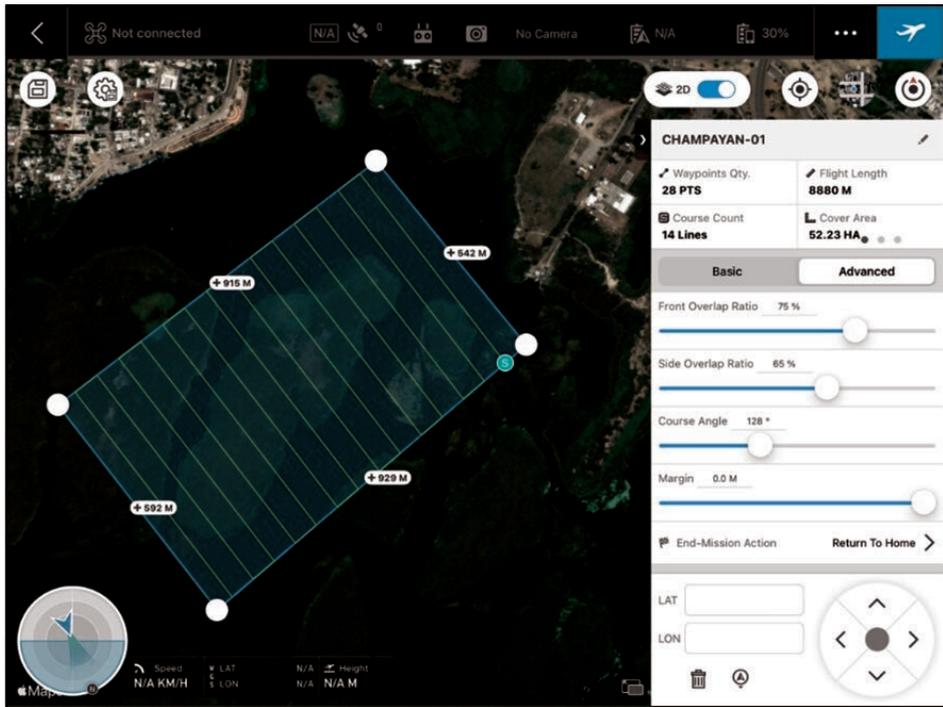


Figura 4. Plan de vuelo del polígono de estudio mediante la implementación de la plataforma DJI-PRO

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de la plataforma DJI-PRO.

El levantamiento se realizó con un dron Phantom 4 PRO a una altura de 120.00m, intervenido mediante control remoto. En las siguientes tablas se muestran las especificaciones del equipo. El plan de vuelo se diseñó para tener fotos que garanticen los modelos 3D de buena definición, así como una densidad importante de la nube de puntos.

Etapa 2: Ejecución de los trabajos

Para las actividades de levantamiento topográfico, fueron utilizados dos sistemas RTK GNSS marca CHC Modelo X9. El equipo topográfico GNSS se colocó sobre la ficha geodésica de CONAGUA, localizada dentro del parque de la Laguna del Champayán, con las siguientes coordenadas UTM: X = 610048.430, Y = 2476556.859, Z = 3.96. Con ayuda de este equipo se colocaron puntos de control para delimitar el polígono del área de estudio para el levantamiento con el dron y así realizar el plan de vuelo.

Tabla 1. Vértices de polígono del levantamiento topográfico

Vértice	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
1	2475334.00	609744.00
2	2475570.00	610023.00
3	2475952.00	610182.00
4	2476033.00	610089.00
5	2475907.00	609835.00
6	2475717.00	609711.00
7	2475408.00	609602.00

Fuente: elaboración propia.

Se tomaron imágenes áreas de alta resolución mediante la implementación de un vehículo aéreo no tripulado dron Phantom 4 PRO a una altura de 120.00 m, ascendiendo y descendiendo en diversos puntos de la zona de estudio.



Figura 5. Trabajos de plan de vuelo en el área de estudio

Fuente: autoría propia



Figura 6. Toma de imágenes de alta resolución en la zona de estudio con la implementación de dron Phantom 4 PRO

Fuente: autoría propia.

Etapa 3: Posproceso

Las imágenes cuentan con posición GPS, fueron calibradas y geocalizadas, para este levantamiento, donde se obtuvieron un total de 324 fotografías.

En la siguiente figura se muestra la posición y el patrón de seguimiento de cada una de las imágenes a lo largo del área de proyecto, se muestran las fotografías calibradas en color verde, las cuales cumplen con el ángulo de inclinación requerido para el posprocesamiento.

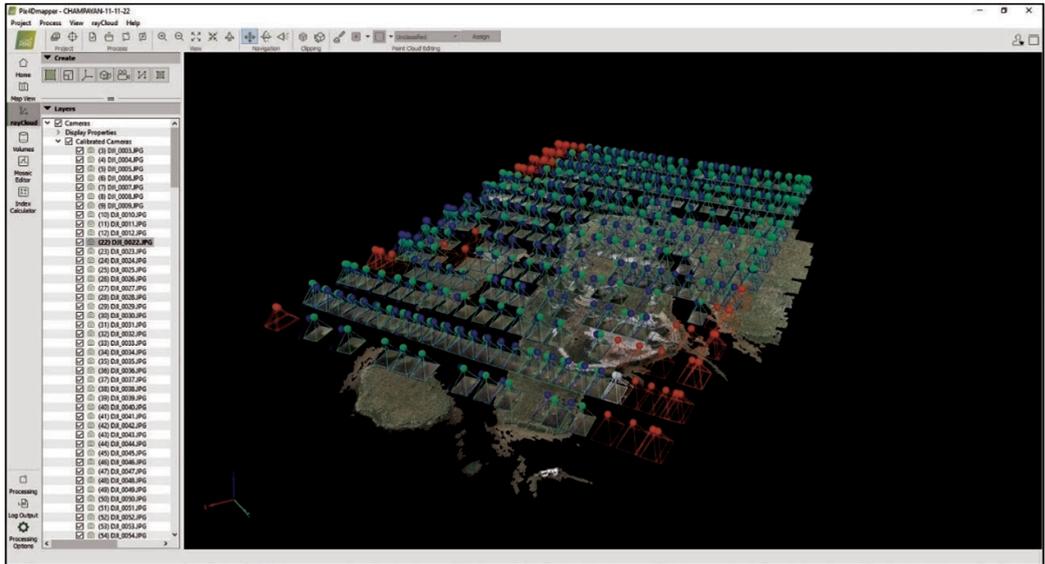


Figura 7. Proceso inicial de calibración mediante el uso del *software* PIX4D

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de la plataforma PIX4D.

El *software* utilizado para el procesamiento de las imágenes fue el PIX4D, en la Figura 7 se muestra parte del reporte de calidad del procesamiento, donde se aprecia la ortofotografía y modelo digital de superficie. Una vez generado el procesamiento inicial, se generó la ortofotografía con una resolución de 5 cm por píxel. En las Figuras 7 y 8 se observa el procesamiento y su resultado final.

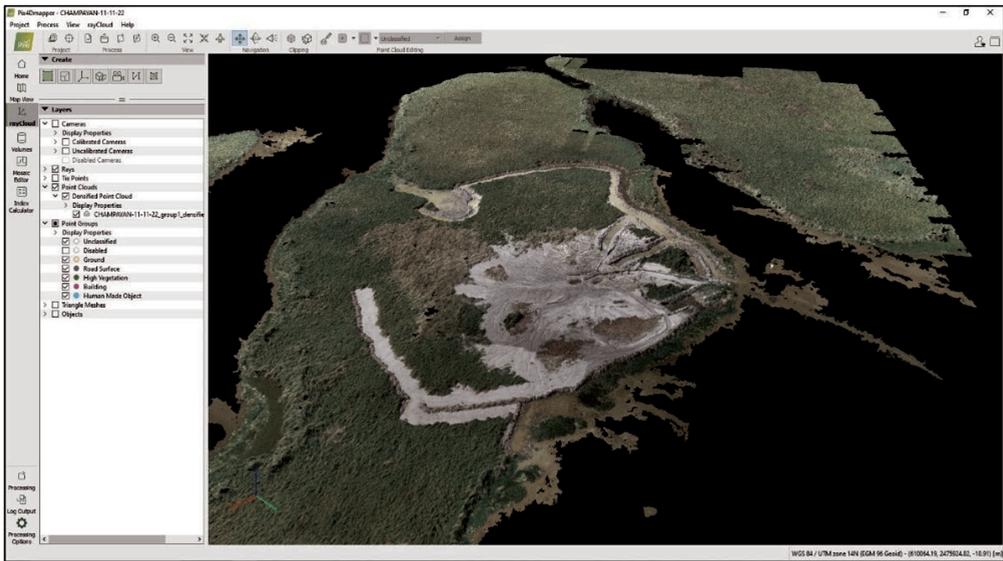


Figura 8. Procesamiento de la generación de ortofotografía mediante el uso del *software* PIX4D
Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de la plataforma PIX4D.

Resultados

Para obtener los resultados es necesario procesar la información. El primer producto es la nube de puntos densa (Figura 9), con este procesamiento se pueden medir volúmenes mediante la selección de puntos determinados, generando polígonos de interés (Figura 10), una vez obtenida la nube de puntos se realiza la ortofotografía (Figura 11), la cual cuenta con una resolución de 5.00 cm por píxel. Con estos dos procesamientos iniciales se elabora el modelo digital de terreno (MDT), el cual se compara con la ortofotografía para una correlación de áreas (Figura 12). Estos productos pueden ser utilizados mediante un *software* de sistemas de información geográfica como QGIS o ArcGIS para realizar visualizaciones que ayuden a interpretar los resultados del monitoreo de trabajos de desazolve.

Entre los resultados en SIG, uno de los principales es la realización de una escena 3D (Figura 13), una de las ventajas es que tanto el MDT y la ortofoto pueden ser mezcladas utilizando valores de transparencia, asimismo los rasgos característicos del terreno pueden ser exagerados en su escala vertical al utilizar la variable de extrusión

como se observa en la Figura 14. Este tipo de elementos tiene el fin de visualización y demostración para trabajar con datos más técnicos. Los sistemas de información geográfica cuentan con herramientas para generar perfiles de terreno o topográficos y el cálculo de volúmenes para cuantificar los materiales obtenidos (Figura 15).

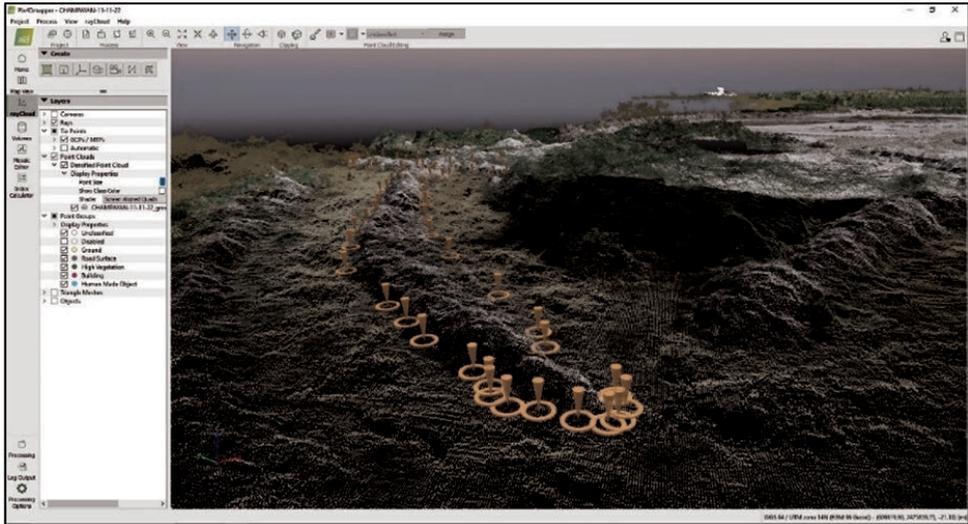


Figura 9. Procesamiento de nube de puntos en *software* PIX4D

Fuente: elaboración propia.

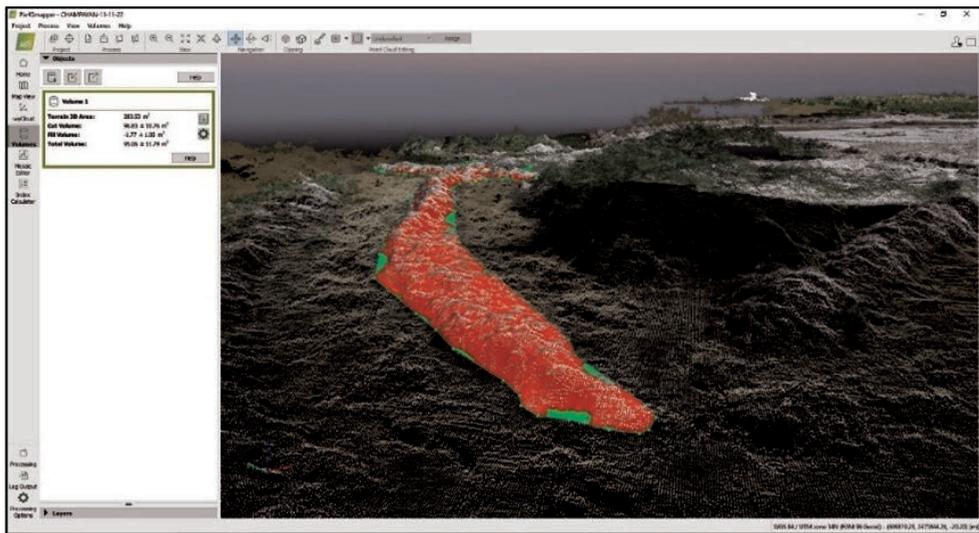


Figura 10. Cálculo de volumen de material a partir del modelo digital de elevación en la *software* PIX4D

Fuente: elaboración propia.

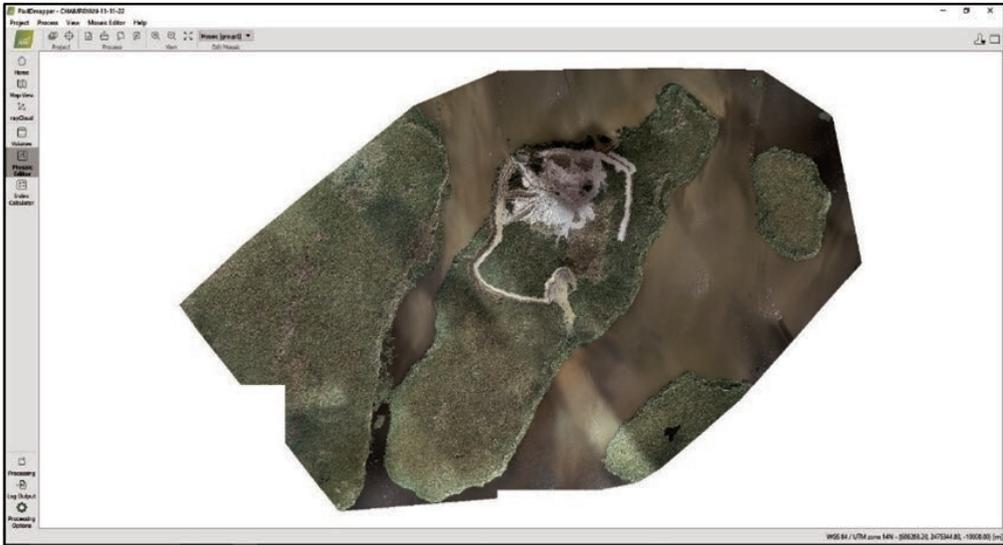


Figura 11. Ortofotografía resultante en el *software* PIX4D

Fuente: elaboración propia.

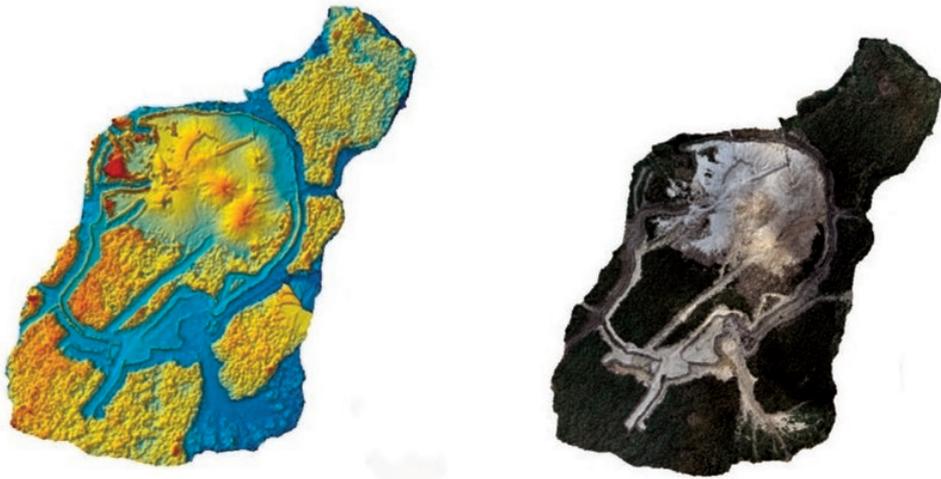


Figura 12. Comparativa del MDT y la ortofotografía del polígono de estudio resultantes en un sistema de información geográfica

Fuente: elaboración propia.

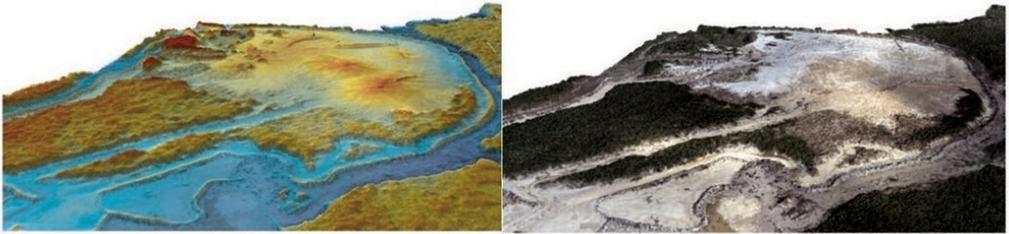


Figura 13. Perspectiva 3D dentro de un sistema de información geográfica

Fuente: elaboración propia.

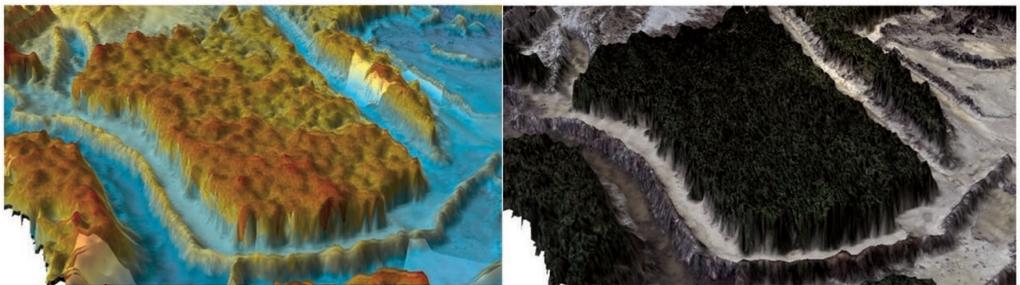


Figura 14. Exageración de los rasgos de altura mediante la técnica de extrusión en un sistema de información geográfica

Fuente: elaboración propia.

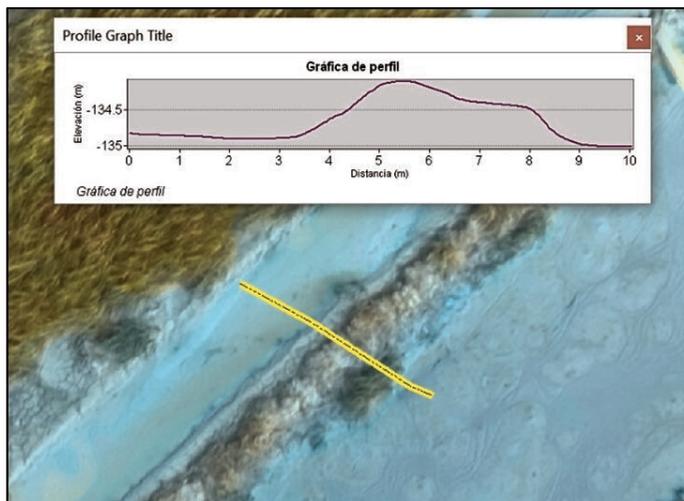


Figura 15. Obtención de un perfil topográfico a partir de las herramientas de un sistema de información geográfica

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Una actividad de seguimiento de desazolve bajo el método tradicional implica el uso de equipos control terrestre, como las estaciones totales y el uso de recurso humano para el levantamiento topográfico del material. En la etapa de resultados, la implementación de tecnologías nuevas como el uso de Sistemas de Información Geográfica, vehículos aéreos no tripulados y *software* especializado permitieron obtener productos como las imágenes georreferenciadas y modelos digitales de superficie con los cuales se compararon las diferentes etapas del proyecto, realizando las mismas actividades de una manera más eficiente y en menor tiempo; por lo que ya no es necesario que personal se adentre al área de estudio para iniciar las actividades de levantamiento.

Mediante el uso de los productos generados en el procesamiento de la información, se pueden comparar los avances de la actividad permitiendo cotejar por medio de un programa de obra los volúmenes de las diferentes actividades. Este capítulo muestra, de manera general, los procedimientos fotogramétricos como una herramienta alterna o complementaria en la etapa de control de obra y seguimiento, quedando sujeta a las necesidades y características de cada proyecto.

Trabajo futuro

Este tipo de metodología puede ser implementada en cualquier actividad que implique un análisis espacial o comparativo de características topográficas. La actividad de desazolve de la laguna se puede utilizar para analizar el avance de obra de acuerdo con un programa establecido. Mediante el proceso fotogramétrico se pueden obtener productos como las curvas de nivel y modelos digitales de terreno, con estos, y a través de un programa de seguimiento periódico, se puede comparar y establecer avances de volumen de obra.

Referencias

- Foster, S. y Halbstain, D. (2014). *Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Desig*. Springer.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-. (s.f.). *Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas. SIATL*. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- _____. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Karl, K. (2007). *Photogrammetry Geometry from Images and laser scan*. Gruyter Textbook.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes -SCT-. (2023, 12 de julio). *Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019*. Diario Oficial. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602732/nom-107-sct3-2019-201119.pdf>

- Tice, B. P. (1991). Unmanned Aerial Vehicles. The Force Multiplier of the 1990s. En R. B. Clark. (Ed.), *Airpower Journal* (pp. 41-55). AU Press. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-05_Issue-1-4/1991_Vol5_No1.pdf
- Wolf, D. W. (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS* (4.^a ed.). McGraw-Hill.

9

MODELO INTELIGENTE DESTINADO A LA PREDICCIÓN DE LAS PREFERENCIAS DE LOS USUARIOS EN HOGARES INTELIGENTES

*Hyasseliny Alejandra Hurtado Mora¹
Alejandro Humberto García Ruiz¹
Luis Jonás González del Ángel^{1*}*

Resumen

Este capítulo presenta un modelo de aprendizaje basado en los usuarios, destinado a predecir sus preferencias en un hogar inteligente. La evaluación se realizó a través de la comparación del desempeño para tres servicios diferentes y para usuarios con diferentes preferencias entre sí. El modelo propuesto tuvo como objetivo dotar a un hogar inteligente de la capacidad de aprender de ellos, para la posterior predicción de sus preferencias sobre el uso de sus electrodomésticos. En concreto, los tres servicios considerados fueron: control de las luces del hogar, temperatura del hogar y temperatura del agua. Para el desarrollo se utilizó una metodología basada en la técnica de inteligencia artificial (IA) conocida como razonamiento basado en casos (CBR). Del mismo modo, se utilizó la técnica árbol inductivo de decisión (ID3) como apoyo a la toma de decisiones. Para evaluar el modelo, cada servicio considera cuatro tipos distintos de usuarios, siendo estos: un profesionalista, un adulto mayor pensionado, un estudiante y un ama de casa. Los resultados de la experimentación demostraron que el ID3 fue capaz de predecir las preferencias de los clientes de todos los servicios y tipos de usuario con un rendimiento promedio superior al 96 % en un conjunto 10 000 experimentos para cada prueba realizada. Adicionalmente, se contrastaron los resultados con la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas, en específico: Friedman, Friedman Alineado y Quade. Se concluye que, para todos los servicios el modelo es capaz de predecir adecuadamente las preferencias con

¹ Facultad de Ingeniería Tampico. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*ljonas@docentes.uat.edu.mx

estilos de vida diferentes. Finalmente, se presentan algunas observaciones y líneas de trabajo futuro, destacando las ventajas del modelo evaluado.

Palabras clave: CBR, ID3, hogar inteligente, entornos inteligentes, ambientes inteligentes.

Introducción

En las últimas décadas, los hogares han pasado de ser solo un lugar en el que las personas pueden resguardarse y mantenerse seguras, a convertirse en espacios ajustados a las necesidades y gustos de sus habitantes, para que se sientan más cómodos y satisfechos. Como resultado, cada vez se desarrollan e implementan más sistemas y automatismos para facilitar a las personas el control de los diversos dispositivos presentes en sus hogares. Esto ha hecho posible que los hogares inteligentes sean una realidad. Sin embargo, aún existen retos relacionados con la eficiencia energética y operativa. Aunque varios estudios los han abordado, es necesario que los investigadores consideren las preferencias de los usuarios para aumentar su satisfacción y reducir el consumo de energía.

Ahmed et al. (2016) trabajaron con la predicción del encendido y apagado óptimo de dispositivos domésticos sin afectar el estilo de vida de los habitantes, logrando una reducción significativa en el gasto de energía. Del mismo modo, Zaher et al. (2016) presentaron la implementación de un *software* cuyo objetivo era reducir el consumo de agua de acuerdo con las actividades y necesidades diarias de los habitantes, demostrando ser capaz de realizar una gran cantidad de tareas sin hacer un uso excesivo de agua.

Más recientemente, los investigadores han continuado proponiendo innovaciones en esta área. Un ejemplo es el trabajo de Huang et al. (2023) en donde se propuso un sistema de control y monitoreo de iluminación inteligente basado en el *Internet de las cosas*. Con el sistema propuesto, los usuarios pueden monitorear el estado de los electrodomésticos a través de una aplicación móvil, lo que corrige las deficiencias de los dispositivos de control remoto tradicionales y permite ahorrar energía eléctrica. Otro trabajo relacionado con los hogares inteligentes es el de Kabir et al. (2023), en el que se presentó un *framework* de monitoreo de seguridad habilitado para sistemas basados en el *Internet de las cosas*. Este marco permitió crear un modelo de monitoreo orientado a garantizar la seguridad en tiempo de ejecución mediante la recopilación y el análisis de datos operativos, para determinar el estado de seguridad del sistema, tomar las acciones apropiadas y comunicar recomendaciones a los usuarios para minimizar los riesgos.

Existe un alto interés por parte de los investigadores en proponer modelos más sofisticados para los hogares inteligentes, debido al gran impacto que representan al facilitar la realización de múltiples tareas sin la intervención directa del usuario. Se pretende mejorar la eficiencia y escalabilidad de los modelos para que más hogares posean servicios inteligentes que brinden comodidad, eficiencia y seguridad en diferentes escenarios y tamaños de viviendas, ofreciendo beneficios tangibles y prácticos a través de la predicción de las necesidades de los usuarios, según sus preferencias.

Este capítulo expone un modelo inteligente desarrollado con la intención de ofrecer una innovadora forma de predecir las preferencias de los usuarios en los hogares inteligentes. El modelo propuesto se desarrolló utilizando una metodología basada en el razonamiento por casos (CBR), propuesta por Kolodner (1983), con la finalidad de resolver algunos problemas importantes presentes en los sistemas expertos (Watson y Marir, 1994), tales como:

- Dificultad de extraer, de expertos (humanos), el conjunto de leyes y normas que nos permitan crear un sistema inteligente.
- Compleja implementación de los sistemas.
- Suelen ser lentos y tienen problemas para acceder y manejar grandes volúmenes de datos.
- Son difíciles de mantener.

Un CBR se basa en experiencias humanas para resolver problemas actuales (Joh, 1997), cualidad que lo vuelve valioso al predecir las preferencias de los usuarios, siendo esta la principal razón por la que fue seleccionada esta metodología para desarrollar al modelo inteligente, mediante cuatro etapas secuenciales (comúnmente llamadas las 4R) (Watson y Marir, 1994; Agnar y Plaza, 1994; Kolodner, 1993):

1. (R1) Recuperación de casos similares.
2. (R2) Reutilización de casos para generar una solución.
3. (R3) Revisión de la solución.
4. (R4) Retención de la solución.

Además del CBR, se utiliza un árbol inductivo de decisión (ID3) como técnica de apoyo para resolver el paradigma del control de actuadores en el hogar inteligente. Un ID3 es un algoritmo englobado dentro del aprendizaje inductivo y supervisado, propuesto por Quinlan (1986). Este algoritmo pretende modelar los datos mediante un árbol decisión, de esta forma, su principal aplicación son los problemas de decisión (Cody et al., 2015). Un ID3 funciona de manera eficiente con datos discretos y tiene diversas ventajas (Somvanshi y Chavan, 2016):

- Clasificación rápida de registros desconocidos.
- Funcionan muy bien en presencia de atributos redundantes.
- Fuertes en presencia de ruido si se proporcionan métodos como el ajuste excesivo.

El resto del capítulo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 describe las etapas del desarrollo del modelo; la sección 3 aborda el proceso de experimentación y muestra los resultados obtenidos; finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones y el trabajo futuro.

Metodología

El modelo inteligente presentado fue pensado en su diseño para operar con cualquier servicio que cumpla con las siguientes características:

1. Las preferencias de los usuarios deben representarse a través de valores discretos.
2. Cada preferencia corresponde a la decisión de dicho usuario ante un estado en particular del hogar.
3. La descripción de cada estado posible del hogar se deberá realizar a través de atributos medibles que puedan ser representados por medio de un vector binario.

Sin embargo, para facilitar la evaluación del modelo, se consideró hacer uso únicamente de tres de los servicios más comunes en los hogares inteligentes:

- Control de luces del hogar.
- Temperatura del hogar.
- Temperatura del agua.

Con la finalidad de distinguir entre los estados del hogar inteligente, usuarios y servicios inteligente, se decidió agrupar a los registros que componen al conjunto de casos, de manera que cada uno de estos represente a un único estado del hogar, vinculado a un usuario y a un servicio. De esta forma, cada registro se construye usando a un vector binario y un escalar.

- Vector Problema (\overline{VP}): conformado por las etiquetas de los atributos que describen un estado del hogar.
- Decisión (D): escala que representa la acción que el modelo debe realizar sobre uno de los actuadores para un estado del hogar.

En el modelo propuesto, para todos los servicios, se consideró a cinco valores posibles para D (Tabla 1). Donde 0 indica que un actuador se encuentra completamente apagado y 100 que se encuentra a su máxima potencia.

Tabla 1. Valores posibles del escalar “Decisión”

Valores posibles
0
25
50
75
100

Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo, se consideraron nueve atributos para \overrightarrow{VP} . Cada uno se asoció a un conjunto de etiquetas, y en algunos casos a un rango de valores. Dicha información permite diferenciar a los distintos estados para cada atributo. A continuación, se describen los que fueron considerados por el modelo para \overrightarrow{VP} .

- Momento del día: conocer el momento del día es información esencial para el modelo, debido a que permite interpretar las necesidades de los usuarios en función de las condiciones naturales del día y los requisitos que demanden para cada servicio en un momento en particular. Las etiquetas propuestas para este atributo y sus rangos correspondientes fueron definidos de acuerdo con las actividades comúnmente realizadas en México para los lapsos que componen un día ordinario.

Tabla 2. Atributo “Momento del día”

Etiqueta	Rango de valores
Madrugada	12 a. m. - 5 a. m.
Amanecer	5 a. m. - 7 a. m.
Mañana	7 a. m. - 12 p. m.
Medio día	12 p. m. - 2 p. m.
Tarde	2 p. m. - 6 p. m.
Anocheecer	6 p. m. - 8 p. m.
Noche	8 p. m. - 12 a.m.

Fuente: elaboración propia.

- **Periodo:** es relevante para el modelo debido a que define el comportamiento de los habitantes del hogar. Aunque no es el único factor involucrado en la modificación del comportamiento humano, es uno de los más relevantes. Por ejemplo, un estudiante modifica la iluminación de su habitación en función de su horario de clase, y en el momento en que se encuentre de vacaciones su comportamiento se verá alterado.

Tabla 3. Atributo “Periodo”

Etiqueta
Laboral-Escolar
Vacaciones

Fuente: elaboración propia.

- **Estado del tiempo:** se considera un atributo significativo para el modelo debido a que las personas normalmente modifican su comportamiento con base en las condiciones climatológicas. Tal es el caso del servicio de iluminación en el que interviene la intensidad luminosa del ambiente. Este atributo tiene como objetivo dotar al modelo con la información suficiente para anticipar los cambios en el control de los diferentes servicios para los cuales el estado del tiempo tome un papel importante.

Tabla 4. Atributo “Estado del tiempo”

Etiqueta
Despejado
Nublado
Lluvioso

Fuente: elaboración propia.

Día de la semana: identificar al día de la semana dentro del modelo permite conocer al patrón de comportamiento de los usuarios para los diferentes servicios de una manera más detallada. Normalmente, los seres humanos agrupan las actividades a realizar por días. Por ejemplo, entre semana en el periodo escolar, una familia que sale de su casa antes de las 6:30 a. m. para iniciar labores, es probable que el fin de semana se quede en casa a realizar actividades pendientes en lugar de salir, de tal forma que requiere que el modelo sea capaz de ajustarse correctamente ante esta situación.

Tabla 5. Atributo “Día de la semana”

Etiqueta
Domingo
Lunes
Martes
Miércoles
Jueves
Viernes
Sábado

Fuente: elaboración propia.

- Condición de salud: es importante conocer el estado de salud de los usuarios, debido a que influye en el estado de ánimo de las personas y con ello en el desempeño de las actividades, llegando a cambiar la forma en que son realizadas o en extremos, a posponer su realización debido a una mala condición. En esta investigación se integró al modelo este atributo para que el modelo actúe con base en los estados de salud de los usuarios.

Tabla 6. Atributo “Condición de salud”

Etiqueta
Saludable
Poco-enfermo
Enfermo

Fuente: elaboración propia.

- Intensidad luminosa interior: es importante conocer la intensidad luminosa que existe en el lugar donde el usuario se ubique, pues el modelo será capaz de decidir sobre la acción de un actuador en particular. De esta forma, las etiquetas y rangos de valores para este atributo fueron seleccionados de forma experimental con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 (2008).

Tabla 7. Atributo “Intensidad luminosa interior”

Etiqueta	Rango de valores
Nada	0 - 30 lúmenes
Poca	30 - 50 lúmenes
Normal	50 - 70 lúmenes
Mucha	Más de 70 lúmenes

Fuente: elaboración propia.

- Humedad interior: es una propiedad física que influye en la forma en que se percibe a la temperatura del medio, por tal motivo se consideró este atributo. Las etiquetas y rangos de valores para este atributo fueron propuestos de forma particular para el desarrollo del modelo propuesto en este trabajo tomando como base la información obtenida de la página oficial de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, s.f.).

Tabla 8. Atributo “Humedad interior”

Etiqueta	Rango de valores
Poca	29 % o menos
Normal	30 % - 50 %
Mucha	51 % o más

Fuente: elaboración propia.

- Temperatura interior: es un factor determinante para que el usuario desee la modificación de la temperatura en un momento dado. Por tal motivo se añadió a este atributo como un complemento del atributo humedad. Las etiquetas y rangos de valores fueron seleccionados de acuerdo con la información obtenida de AccuWeather (s.f.).

Tabla 9. Atributo “Temperatura interior”

Etiqueta	Rango de valores
Mucho-Frío	14 °C o menos
Frío	15 °C - 21 °C
Ambiente	22 °C - 27 °C
Calor	28 °C - 33 °C
Mucho-calor	Más de 34 °C

Fuente: elaboración propia.

- Temperatura del agua: diversas actividades en las que se trabaja con agua requieren diferentes temperaturas. Por ejemplo, para desinfectar productos alimenticios o para el lavado de la ropa se requieren cierta temperatura para lograr su objetivo. En este sentido, se añadió este atributo para que el modelo reconozca la temperatura del agua en el hogar.

Tabla 10. Atributo “Temperatura del agua”

Etiqueta	Rango de valores
Fría	18 °C o menos
Ambiente	19 °C - 24 °C
Tibia	25 °C - 30 °C
Caliente	Más de 30 °C

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 11 presenta los atributos que constituyen cada uno de los servicios considerados para la evaluación del modelo propuesto. Lo anterior, debido a que un servicio está integrado solamente por el conjunto de atributos esenciales para dicho servicio.

Tabla 11. Atributos que integran a cada uno de los servicios

Control de las luces del hogar	Control de la temperatura interior	Control de la temperatura del agua
- Estado del tiempo	- Momento del día	- Momento del día
- Momento del día	- Día de la semana	- Día de la semana
- Periodo	- Temperatura interior	- Temperatura interior
- Día de la semana	- Estado de salud	- Estado de salud
- Intensidad luminosa interior	- Humedad interior	- Temperatura del agua

Fuente: elaboración propia.

En la base de datos del modelo, cada caso se representa por un vector compuesto por las etiquetas de los atributos que componen cada servicio, según el orden mostrado en la Tabla 11. Por ejemplo, para el servicio: control de las luces del hogar, la estructura para un registro se representa como se aprecia en (1).

$$\vec{VP} = [Despejado \ Madrugada \ Laboral_Escolar \ Domingo \ Nada] \quad (1)$$

El primer valor del vector corresponde al atributo estado del tiempo, el segundo al momento del día y así sucesivamente, hasta llegar a la intensidad luminosa interior, siendo este el último considerado para el servicio de control de las luces del hogar. Se optó por esta representación debido a que facilita la manipulación de los casos en las distintas etapas de la metodología. El esquema general del modelo inteligente propuesto es presentado en la Figura 1.

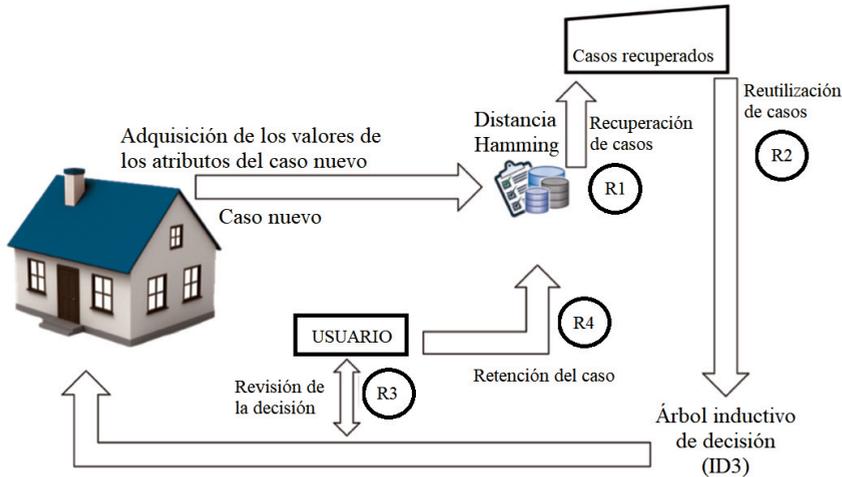


Figura 1. Esquema general del modelo inteligente propuesto

Fuente: elaboración propia a partir de CONAGUA (2023). Información estadística, climatológica.

a) Recuperación (R1)

Tiene como objetivo recuperar casos almacenados en la base de datos que se asemejen al caso a resolver. Para esta etapa se consideró la utilización de la distancia Hamming. La distancia Hamming entre dos vectores de igual longitud es el número de posiciones en las que los valores correspondientes a la misma posición son diferentes, es decir, el número mínimo de sustituciones necesarias para transformar un vector en el otro (Hamming, 1950). En esta métrica de similitud, la distancia es 0 cuando ambos vectores son iguales.

Se decidió contar con dos tipos de vectores para llevar a cabo la aplicación de la distancia Hamming: Contraste (\vec{N}) (2), utilizado para describir al \vec{VP} de un caso nuevo; y Comparación (\vec{P}) (3), que representa al \vec{VP} de un caso existente en la base de datos de casos. Para cada ejecución de esta etapa, se contó con un único \vec{N} y tantos \vec{P} como casos en la base de datos (\vec{C}) (4). Donde \vec{N} es usado para recuperar casos similares de la base de datos mediante la aplicación de la distancia Hamming (5). Los \vec{VP} recuperados (\vec{V}), así como el vector de sus escalares de decisión asociados

(\vec{D}) , son almacenados en un vector independiente para su posterior uso en la etapa de reutilización (\vec{M}) (6).

$$\vec{N} = [\text{atrib}_1 \text{ atrib}_2 \text{ atrib}_3 \dots \text{ atrib}_k] \quad (2)$$

$$\vec{P} = [\text{atrib}_1 \text{ atrib}_2 \text{ atrib}_3 \dots \text{ atrib}_k] \quad (3)$$

$$\vec{C} = \{\vec{P}_1 \vec{P}_2 \dots \vec{P}_n\} \quad (4)$$

$$[\vec{V} \vec{D}] = \text{distancia Hamming}(\vec{N}, \vec{C}) \quad (5)$$

$$\vec{M} = \{\vec{V}, \vec{D}\} \quad (6)$$

Como criterio de recuperación, se estableció al 60 % de similitud entre los vectores comparados.

b) Reutilización (R2)

Esta etapa permite obtener una decisión para dar solución a un caso nuevo. La decisión obtenida se basa en un árbol inductivo de decisión (ID3), en particular, se implementó el algoritmo del *framework* Accord (Souza, 2014). Sin embargo, cuando no se cuente con información suficiente para proporcionar una decisión mediante el ID3, el modelo tomará una decisión aleatoria. El conjunto de casos que se utiliza en el modelo inteligente para la construcción del árbol de decisión está constituido por \vec{M} generado en la etapa de recuperación, así como por el nombre asociado a cada uno de los atributos que lo constituyen.

c) Revisión (R3)

Al hablar de hogares inteligentes, para revisar las decisiones obtenidas por el modelo es necesaria la retroalimentación por parte del usuario. Cada vez que el modelo proporcione una decisión a un caso nuevo, el usuario podrá indicar si esta es la que deseaba o no. De no sentirse cómodo con la decisión, el usuario podrá modificar la decisión del modelo de acuerdo con sus preferencias.

d) Retención (R4)

En esta etapa, el modelo comprobará si el caso nuevo existe en el conjunto de casos y de ser así, si la decisión es diferente a la deseada por el usuario, se actualizará la decisión asociada al caso. Si el caso no existe en la base de datos, este será almacenado solo si el modelo no fue capaz de proporcionar una decisión aceptable para el usuario con los casos ya almacenados.

Resultados

Con la finalidad de evaluar el rendimiento del modelo inteligente, se aplicaron casos de estudio para comparar el desempeño del modelo con los servicios considerados y con diversos tipos de usuarios, cada uno con diferentes preferencias. La selección de los usuarios a quienes se les aplicaría los casos de estudio se determinó tomando en cuenta el panorama sociodemográfico de México (INEGI 2020), donde se observó que la mayor parte de la población cuenta con una actividad económica activa. Entre la población inactiva, se identificó que la mayoría son estudiantes, seguido por jubilados y pensionados, personas con alguna incapacidad física o mental y, finalmente, personas que no trabajan ni estudian. De esta forma, se decidió que para la aplicación de casos de estudio, con los cuales se evaluaría al modelo inteligente, los usuarios candidatos debían ser: un estudiante, un profesional, un ama de casa y un pensionado de la tercera edad.

Previo a la aplicación de los casos de estudio, se solicitó a cada usuario que llenara un formato con las decisiones que deseaba para cada una de las permutaciones posibles en el modelo para cada servicio. Esto con el fin de reducir el tiempo necesario para la etapa de revisión del modelo y evaluar un mayor número de experimentos en menos tiempo.

Después del llenado del formato, se procedió a la generación aleatoria de un amplio conjunto de casos para realizar la evaluación del modelo propuesto a través de su ejecución durante un periodo prolongado. Se generaron 10 000 casos para la evaluación del modelo. Este número de experimentos se estableció porque se observó que, después de esta cantidad, los resultados de eficiencia obtenidos no mostraron cambios significativos. El programa utilizado para la generación de los casos se desarrolló en C#. Se decidió utilizar al mismo conjunto de casos para todos los tipos de usuarios.

Debido a la gran cantidad de casos puestos a prueba, se decidió agrupar la eficiencia de los casos en bloques de 100 para mejorar su comprensión. La eficiencia de cada experimento se calculó mediante la siguiente ecuación (7):

$$eficiencia = 100 - |D_{modelo} - D_{usuario}| \quad (7)$$

En cuanto al rendimiento, para el primer bloque de casos se estableció como el promedio de la eficiencia calculada para cada caso del bloque, es decir, la *eficiencia del bloque*. Para el resto de los bloques, el rendimiento se calculó mediante la siguiente expresión (8):

$$rendimiento_i = \frac{rendimiento_{i-1} + eficiencia_bloque_i}{2} \quad (8)$$

Como resultado de la aplicación de los casos de estudio, por usuario fue posible obtener el rendimiento promedio del modelo para cada servicio, encontrándose este asociado al último rendimiento calculado. Los resultados obtenidos por cada servicio se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Rendimientos obtenidos por cada prueba para los distintos servicios evaluados

	Control de las luces del hogar	Control de la temperatura interior	Control de la temperatura del agua
Prueba 1. Adulto mayor pensionado	99.00 %	99.00 %	88.94 %
Prueba 2. Ama de casa	99.00 %	98.18 %	98.68 %
Prueba 3. Estudiante	99.00 %	99.00 %	98.97 %
Prueba 4. Profesional	95.18 %	98.94 %	98.94 %
Rendimiento promedio del servicio:	98.05 %	98.78 %	96.38 %

Fuente: elaboración propia.

En los resultados de la Tabla 12 se observa un desempeño promedio superior al 96 % para los tres servicios, sin embargo, para dar un sustento estadístico a esta afirmación, es necesaria la aplicación de pruebas estadísticas para determinar si en los resultados obtenidos existen diferencias en el rendimiento promedio de los servicios evaluados (Derrac et al., 2011). Las pruebas aplicadas fueron: Friedman, Friedman Alineado y Quade.

Las hipótesis de las pruebas aplicadas se muestran en 9, donde H_0 es la hipótesis nula, y H_a es la hipótesis alternativa.

$$\begin{aligned} H_0: & \text{No existen diferencias entre el rendimiento promedio de los servicios evaluados} \\ H_a: & \text{Existen diferencias entre el rendimiento promedio de los servicios evaluados} \end{aligned} \quad (9)$$

La Tabla 13 muestra los parámetros de las pruebas estadísticas aplicadas.

Tabla 13. Parámetros de las pruebas estadísticas no paramétricas aplicadas

Parámetro	Valor
Servicios (k)	3
Pruebas (n)	4
Nivel de significancia (α)	0.05
Nivel de confianza	95 %
Valor crítico de Friedman	5.99
Valor crítico de Friedman alineado	5.99
Valor crítico de Quade	5.14

Fuente: elaboración propia.

En las pruebas estadísticas, los servicios se clasificaron según el rendimiento promedio obtenido por el modelo para cada uno de estos. En la Tabla 14 se presentan los resultados de la clasificación obtenidos para cada prueba. Para cada prueba, el mejor servicio fue marcado en negrita.

Tabla 14. Clasificación de los servicios según las pruebas estadísticas aplicadas

Servicios	Clasificación		
	Friedman	Friedman Alineado	Quade
Control de las luces del hogar	1.75	6.25	1.7
Control de la temperatura interior	1.75	5.5	1.8
Control de la temperatura del agua	2.5	7.75	2.5

Fuente: elaboración propia.

El estadístico para cada prueba se calculó de acuerdo con los valores de la Tabla 13. En estas pruebas, si el estadístico calculado es mayor que el valor crítico asociado a la prueba o el valor de p es menor que α , entonces la hipótesis nula es rechazada y es aceptada la hipótesis alternativa (Derrac et al., 2011).

Los resultados obtenidos por las pruebas aplicadas se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Estadísticos y valores p de las pruebas estadísticas aplicadas

Prueba estadística	Estadístico calculado	Valor de p
Friedman	1.5	0.4723
Friedman alineado	2.92	0.232
Quade	0.56	0.5962

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas (Tabla 15) muestran que el valor del estadístico calculado para cada una es menor que su valor crítico asociado, asimismo, el valor de p obtenido fue mayor que α en todos los casos, de tal forma que existe la evidencia estadística suficiente para aceptar la hipótesis nula, es decir, no hay diferencia en el rendimiento promedio de los servicios evaluados. Al aceptar la hipótesis nula, se da por terminada la comparación de los servicios propuestos, concluyendo que el modelo inteligente propuesto es eficiente para la toma de decisiones de los tres servicios para los distintos tipos de usuario considerados.

Conclusiones y trabajo futuro

Debido al atareado ritmo de vida, es habitual olvidar apagar un electrodoméstico o dejar algún aparato encendido durante largos e innecesarios periodos, lo que puede ocasionar graves consecuencias. Para afrontar esta situación, en este capítulo se propuso un modelo inteligente destinado a agregar a un hogar inteligente un mecanismo de aprendizaje que le permita reaccionar de manera proactiva, basado en las preferencias de los usuarios. Aunque en esta investigación no se implementó el modelo en un escenario real, sí se consideraron las implicaciones éticas y de privacidad relacionadas con la predicción de preferencias en los hogares inteligentes. Lo anterior debido a que el modelo opera con información sensible de los usuarios, por lo que debe proteger los datos personales y garantizar la transparencia en su uso, asegurando que las decisiones del modelo respeten la privacidad de los usuarios, mantengan la integridad de los datos y estén alineados con los principios éticos. Sin embargo, en una implementación real del modelo inteligente, deberán implementar mecanismos de seguridad y privacidad adicionales para minimizar cualquier riesgo de uso indebido o invasión de la privacidad.

La evaluación de modelo propuesto se realizó a través de la aplicación de casos de estudio a tres de los servicios más comunes en los hogares inteligentes: control de luces, temperatura interior y temperatura del agua. Basado en estos servicios, se ejecutó el modelo con cuatro tipos distintos de usuarios para comparar el rendimiento promedio en cada caso.

Como resultado de la comparación, se observó un rendimiento promedio superior al 96 % para los tres servicios. Sin embargo, para sustentar estadísticamente los resultados, se aplicaron tres pruebas estadísticas: Friedman, Friedman Alineado y Quade. Con base en los resultados de estas pruebas, se determinó que el modelo es suficientemente capaz de lograr una estabilidad similar con distintos tipos de usuarios y diferentes preferencias, así como con diversos servicios.

Finalmente, se proponen ideas para trabajos futuros: la evaluación de otras técnicas de apoyo en toma de decisiones, como la lógica difusa, redes bayesianas y redes neuronales; la ampliación del caso de estudio para incluir nuevos tipos de usuarios, restricciones y servicios para mejorar y validar el modelo; y la evaluación de múltiples usuarios simultáneamente, junto con la modificación del modelo.

Referencias

- AccuWeather. (s.f.). *Accuweather now*. <https://www.accuweather.com/en/mx/mexico-weather>
- Agnar, A. y Plaza, E. (1994). Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 7(1), 39-59. DOI: 10.3233/AIC-1994-7104
- Ahmed, M. S., Mohamed. A., Shareef, H., Homod, R. y Ali, J. (2016, del 14 al 16 de noviembre). Artificial neural network based controller for home energy management considering demand response events [conferencia en papel]. *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEESE)*, Putrajaya, Malasya. https://www.researchgate.net/publication/311841682_Artificial_Neural_Network_Based_Controller_for_Home_Energy_Management_Considering_Demand_Response_Events
- Cody, C., Ford, V. y Siraj, A. (2015, del 9 al 11 de diciembre). Decision Tree Learning for Fraud Detection in Consumer Energy Consumption. *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, Miami, U.S.A. <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2015.80>
- Derrac, J., García, S., Molina, D. y Herrera, F. (2011). A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1), 3-18. https://www.researchgate.net/publication/220514416_A_practical_tutorial_on_the_use_of_nonparametric_statistical_tests_as_a_methodology_for_comparing_evolutionary_and_swarm_intelligence_algorithm
- Hamming, R. W. (1950). Error detecting and error correcting codes. *The Bell System Technical Journal*, 29(2), 147-160. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6772729>
- Huang, X. R., Chen, C. H. y Chen, L. B. (2023, del 6 al 8 de enero). An Intelligent Lighting Monitoring and Controlling System Based on ZigBee Low-Power Wireless Technology for Smart Homes [conferencia]. *2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. Las Vegas, U.S.A. doi: 10.1109/ICCE56470.2023.10043566.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-. (2020). *Panorama sociodemográfico de México 2020*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197711.pdf
- Joh, D. Y. (1997). CBR in a changing environment. En D. B. Leake y E. Plaza. (Eds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (pp. 53-62). Lecture Notes in Computer Science.
- Kolodner, J. (1983). Maintaining organization in a dynamic long-term memory. *Cognitive Science*, 7(4), 243-280. DOI: 10.1016/S0364-0213(83)80001-9
- _____. (1993). *Case-Based Reasoning*. Ai Commun.

- Kabir, S., Gope, P. y Mohanty, S. P. (2023). A Security-Enabled Safety Assurance Framework for IoT-Based Smart Homes. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(1), 6-14. DOI: 10.1109/TIA.2022.3176257.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social -STPS-. (2008). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008*. Diario Oficial. <https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- Somvanshi, M. y Chavan, P. (2016, del 12 al 13 de agosto). A review of machine learning techniques using decision tree and support vector machine [conferencia]. *International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India.
- Souza, C. R. (2014). *A Tutorial on Principal Component Analysis with the Accord.NET Framework* (Technical Report, 2012). Sao Carlo: University of Sao Carlos, Department of Computing.
- US EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (s.f.). *Versión en texto del recorrido a la casa con moho*. <https://espanol.epa.gov/cai/version-en-texto-del-recorrido-la-casa-con-moho>
- Watson, I. y Marir, F. (1994). Case-based reasoning: A review. *The Knowledge Engineering Review*, 9(4), 327-354. DOI: 10.1017/S0269888900007098
- Zaher, R., Chaccour, K. y Badr, G. (2016, 6 al 8 de abril). Intelligent Software Simulation of Water Consumption in Domestic Homes [conferencia]. *2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, Cambridge, Reino Unido.

Ingeniería básica y de frontera con incidencia en los Programas Nacionales Estratégicos de Rocío del Carmen Vargas Castillejas, Esperanza Martínez Cano, Roberto Pichardo Ramírez, Salvador Ibarra Martínez, compiladores, publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Editorial Fontamara en diciembre de 2024. La revisión y diseño editorial correspondieron al Consejo de Publicaciones UAT.

En los últimos años, a nivel internacional se ha demostrado que la inversión en temas de ciencia y tecnología es fundamental para el desarrollo de un país, ya que las mejoras en procesos y actividades que se obtienen como reflejo de los nuevos modelos y desarrollos obtenidos mediante la investigación básica y aplicada, impacta en el crecimiento del producto interno bruto y aumenta la productividad de los sectores, lo cual se refleja en un incremento en la calidad de vida de los ciudadanos.

Alineados a esta afirmación, las instituciones de educación superior de México cuentan con profesores, investigadores y estudiantes en niveles educativos de licenciatura y posgrado que buscan ser motores en la generación de ideas innovadoras potenciando la participación entre academia, ciencia y tecnología con los sectores productivos y la sociedad en general. Es así, que México cuenta con programas y fondos gubernamentales que apoyan el modelo educativo brindando oportunidades para la formación integral de estudiantes con una visión totalmente orientada a las necesidades del país, con miras en los objetivos de desarrollo sostenible.

Este libro es la oportunidad para comunicar diferentes trabajos de investigación que conjuntan los esfuerzos de estudiantes de licenciatura y posgrado con profesores e investigadores de áreas de ingeniería que se imparten en la Facultad de Ingeniería Tampico de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, quienes con su quehacer académico buscan contribuir de forma precisa y eficiente a diferentes sectores de la sociedad en temas de computación asistida, análisis ambientales y socioecológicos, cuestiones hidrológicas y ciencias de los materiales.