

Nº 21 JUNIO 2026

# INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA

En este número:

VALORIZATION OF POSTHARVEST  
CARROT WASTE IN OBTAINING CELLULOSE  
BIOPLASTIC FILMS FOR 'COOKIES PACKAGING'

PRÓTESIS MIOELÉCTRICA PERSONALIZADA  
PARA PERSONAS CON ECTRODACTILIA  
MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO

ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y PROPUESTAS  
DE MEJORA PARA LAS ÁREAS FUNCIONALES  
DEL SECTOR VINÍCOLA

ENOTURISMO INMERSIVO:  
LA EXPERIENCIA DEL VINO DIGITAL  
EN DOLORES HIDALGO

ANÁLISIS DE LA CREATIVIDAD  
EN ESTUDIANTES DE 10-11 AÑOS  
MEDIANTE EL TEST DE PENSAMIENTO  
CREATIVO DE TORRANCE (TTCT)  
Y SU COMPARACIÓN POR GÉNERO

EL BIENESTAR ANIMAL EN VACAS  
LECHERAS: CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Visita:

<https://www.investigacionaplicadarevista.com/>

Editorial ZSE

**Arbitrada e Indexada**

**DOI**

**10.60968/iaet.3594-035X**

# Página Editorial

## INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA

Año 11, No. 21, enero-junio 2026, es una publicación electrónica semestral editada por Zulma Sánchez Estrada. Av. de Las Rosas 260A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo.de México,

C.P. 54987, E-mail:

[investigacionaplicada4@gmail.com](mailto:investigacionaplicada4@gmail.com)

Editores responsables: Zulma Sánchez Estrada, Jorge Noriega Zenteno, Jorge Aarón Noriega Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-010414492600-203, ISSN: 3594-035X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Zulma Sánchez Estrada, Av. de Las Rosas 260A, Fracc. Hda. Real de Tultepec, Tultepec, Edo. de México, C.P. 54987, fecha de última modificación, 30 de junio 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.

**Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de los editores.**

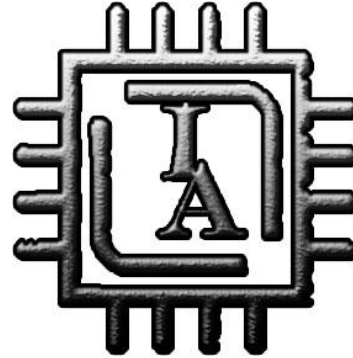
## Revista Indexada y Arbitrada

Folio Latindex: 28438

<https://www.latindex.org/latindex/Solr/Busqueda?idModBus=0&buscar=investigaci%C3%B3n+aplicada%2C+un+enfoque+en+la+tecnolog%C3%ADa&submit=Buscar>

**DOI**

[10.60968/iaet.3594-035X](https://doi.org/10.60968/iaet.3594-035X)



La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación periódica, indexada, arbitrada y registrada ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor, que tiene como propósito principal divulgar el trabajo científico de investigadores e investigadoras, por tal motivo, los artículos publicados tienen relación con el trabajo y aplicación de la Investigación en general y con las derivaciones de la ingeniería que se desarrollan en el ámbito de la investigación en particular.

La revista **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología** es una publicación Indexada, arbitrada y cuenta con **DOI**. (Digital Object Identifier) (Registro Europeo).

## Acerca de la revista

El comité editorial de **Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología**, está formado por investigadores con una trayectoria destacada en el ámbito laboral y de investigación, que en conjunto forman una fuerza interdisciplinaria para dar prestigio y sustento al contenido de la revista.

### Comité Editorial

Dra. Zulma Sánchez Estrada

Dr. Jorge Noriega Zenteno

Ing. Jorge Aarón Noriega Sánchez

### Contacto

Contactar con la revista

Email: [investigacionaplicada4@gmail.com](mailto:investigacionaplicada4@gmail.com)

<https://www.investigacionaplicadarevista.com/>

### Contacto principal

Dra. Zulma Sánchez Estrada

Celular: 55-13-47-71-04

Correo electrónico: [zul\\_zul\\_1@hotmail.com](mailto:zul_zul_1@hotmail.com)

Dr. Jorge Noriega Zenteno

Celular: 55-11-26-55-27

Correo electrónico: [jorge\\_sup@hotmail.com](mailto:jorge_sup@hotmail.com)

# PROCESO DE EVALUACIÓN

## 01 Recepción de artículos

Se reciben los artículos de acuerdo con el formato autorizado por la revista, así como la carta de **“Declaración de Originalidad”** firmada por los autores involucrados en el artículo, esto se conoce por medio de una convocatoria interna y externa de la página electrónica y otros modos de difusión, se revisa que el artículo cumpla con los estándares y lineamientos de la revista. Si el resultado de la revisión no se alinea a los requerimientos se notificará al autor de dicha resolución por medio de un correo electrónico; pero si el artículo cumple con lo establecido se reenvía un correo para notificar la aceptación junto con una carta emitida por el comité Editorial **“Carta de aceptación”** y se continuará con el siguiente proceso. El proceso de aceptación consta de 20 días hábiles desde la entrega del artículo.

## 02 Revisión por el Comité Revisor

Los artículos recibidos serán turnados para su revisión inicial al Comité Revisor, que analizará el contenido y presentación del trabajo de acuerdo con la temática de nuestra revista, así como la redacción y si se presenta plagio del escrito. En caso de existir un fallo no favorable por parte del comité revisor, se les comunicará a los autores que dicho artículo no es aceptado por las razones que serán explicadas en el formato de revisión. En el caso de artículos autorizados, se iniciará el proceso de evaluación con la correspondiente notificación a los autores.

## 03 Asignación de Evaluadores

Se enviarán invitaciones a los árbitros sugeridos por el Comité Revisor. El artículo es revisado en pares, por lo que la revisión y comentarios serán por ambos expertos. Los posibles evaluadores deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

Contar con experiencia en investigación y experiencia empresarial de por lo menos tres años y haber publicado por lo menos un artículo y/o, libro y contar con una distinción honorífica.

## 04 Evaluaciones

Los revisores tienen un sentido amplio de la ética, por lo que siguen los lineamientos de evaluación sin ser parciales. El periodo de evaluación no es más de 20 días hábiles, a lo que corresponde a este tiempo se puede sugerir al autor que realice modificaciones y las reenvíe; en el momento del reenvío de las correcciones se vuelven a contar 10 días hábiles.

Después de revisar nuevamente el artículo ya con las correcciones hechas de acuerdo con los lineamientos, se le enviará una notificación vía correo electrónico con la respuesta del comité si se es aceptado o rechazado, con su debida justificación.

Si la justificación no es aceptada por el autor, puede enviar un correo electrónico dando su opinión al respecto pidiendo una ronda extra de revisión. Esta ronda extra pasará a un tercer evaluador diferente al primero y segundo.

Al finalizar las evaluaciones y si los artículos son aceptados se enviará un comunicando de su aceptación y se reenviará una sesión de derechos para ser publicada en la misma.

## 05 Pago

Una vez aceptado el artículo por los revisores se procederá a hacer el pago correspondiente para la publicación de este y se procederá a enviar su comprobante de pago, junto con el nombre del artículo a postular al correo de la revista, para continuar con el proceso.

(Ver términos y condiciones) <https://www.investigacionaplicadarevista.com/terminos-condiciones>

# Proceso de publicación

1. Lanzamiento de la convocatoria.
2. Consulta del formato (plantilla) para la captación del artículo.
3. Carta de “**Declaración de Originalidad**” del artículo.
4. Subir el artículo en formato **Word** junto con la carta de originalidad en formato **PDF** a la siguiente dirección: [INVESTIGACIONAPLICADA4@GMAIL.COM](mailto:INVESTIGACIONAPLICADA4@GMAIL.COM)
5. Se pasa al Comité Evaluador.
6. Se tiene respuesta en 10 días hábiles.
7. Si el artículo presenta recomendaciones a corregir por parte de los revisores, se envía el artículo con las recomendaciones a corregir al autor principal para atención de las mismas.
  - a. Se corrigen las recomendaciones y son enviadas nuevamente al correo de la revista.
  - b. Son revisadas nuevamente por el comité revisor y cuenta con 5 días hábiles para dar contestación.
  - c. Si cumplen con los requerimientos del formato de la revista es aceptado el artículo.
8. Si el artículo es aceptado se envía una “**Carta de aceptación**” por parte del comité editor.
9. Se procederá a realizar el pago correspondiente para la publicación.
10. El autor principal enviará el comprobante de pago junto con el nombre del artículo postulado para el proceso de confirmación del pago.
11. Se tendrán 3 días hábiles para mandar la factura y constancias después de recibido el comprobante de pago al correo de la revista.
12. Encaso de solicitar **DOI** el proceso de entrega de constancias es de 7 días hábiles después de recibido el comprobante de pago, por motivos de revisión del artículo por parte del índice europeo contratado.
13. El artículo se publicará hasta la fecha asignada que son el 1º julio y 2 de enero en la página oficial de la revista.
14. Se tendrán de plazo de 3 días hábiles para realizar modificaciones o adecuaciones de la página después de ser publicada la página, por lo que la edición formal será después de ese tiempo.
15. Si se presenta una contingencia gubernamental o de salud nacional las fechas de publicación pueden ser modificadas de acuerdo a las ordenes o permisos nacionales, si es que esta implicado las tecnologías.

# Contenido

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Valorization of postharvest carrot waste in obtaining cellulose bioplastic films for cookies packaging</b>	<b>1</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.948</b>	<b>1</b>
<i>INTRODUCTION</i>	2
<i>DEVELOPMENT</i>	3
<i>GENERAL AND SPECIFIC OBJECTIVES</i>	3
<i>OBJECT OF STUDY</i>	3
<i>METHODOLOGY</i>	3
<i>DEVELOPMENT PHASES</i>	4
<i>RESULTS AND DISCUSSION</i>	5
<i>CONCLUSION</i>	8
<i>REFERENCES</i>	9
<b>Prótesis mioeléctrica personalizada para personas con ectrodactilia mediante tecnologías de bajo costo</b>	<b>11</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.949</b>	<b>11</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	12
<i>DESARROLLO</i>	12
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	12
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	12
<i>METODOLOGÍA</i>	12
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	13
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	18
<i>CONCLUSIÓN</i>	19
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	20
<b>Análisis de Competitividad y Propuestas de Mejora para las Áreas Funcionales del Sector Vinícola</b>	<b>21</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.946</b>	<b>21</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	22
<i>DESARROLLO</i>	22
<i>OBJETIVOS</i>	23
<i>GENERAL</i>	23
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	23
<i>METODOLOGÍA</i>	24

<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	24
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	24
<i>CONCLUSIÓN</i>	26
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	27
<b>Enoturismo inmersivo: la experiencia del vino digital en Dolores Hidalgo</b>	<b>28</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.947</b>	<b>28</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	29
<i>DESARROLLO</i>	29
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	29
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	29
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	30
<i>METODOLOGÍA</i>	30
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	30
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN (IMPACTO ESPRADO)</i>	33
<i>CONCLUSIONES</i>	34
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	34
<b>Análisis de la creatividad en estudiantes de 10–11 años mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) y su comparación por género</b>	<b>35</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.95</b>	<b>35</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	36
<i>DESARROLLO</i>	36
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	36
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	36
<i>METODOLOGÍA</i>	37
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	37
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	38
<i>CONCLUSIÓN</i>	41
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	42
<b>El bienestar animal en vacas lecheras: criterios de evaluación</b>	<b>43</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.953</b>	<b>43</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	44
<i>DESARROLLO</i>	44
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	45
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	45

<i>METODOLOGÍA</i>	45
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	45
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	46
<i>CONCLUSIÓN</i>	48
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	48
<b>Guía para definir Atributos de egreso bajo el marco de referencia 2025 de CACEI</b>	<b>51</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.965</b>	<b>51</b>
<i>1.-INTRODUCCIÓN</i>	52
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	52
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	52
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	52
<i>2.-METODOLOGÍA</i>	53
<i>3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	54
<b>Planeación para la valoración de AE.</b>	58
<b>Mapeo de AE en el mapa curricular del PE Ingeniero mecánico.</b>	58
<i>4.-CONCLUSIONES</i>	59
<i>5.-BIBLIOGRAFÍA</i>	59
<b>Tratamiento de afluentes agroindustriales en un SBR y humedales construidos</b>	<b>60</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.955</b>	<b>60</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	61
<i>DESARROLLO</i>	61
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	62
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	62
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	62
<i>METODOLOGÍA</i>	62
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	63
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	65
<i>CONCLUSIÓN</i>	70
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	70
<b>Sistema de Detección de Intrusos de Bajo Costo para Entornos Domóticos basado en IoT</b>	<b>72</b>
<b>10.60968/iaet.3594-035X.956</b>	<b>72</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	74
<i>DESARROLLO</i>	74

<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	74
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	74
<i>METODOLOGÍA</i>	75
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	75
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	75
<i>CONCLUSIÓN</i>	78
<b>Sistema eólico de baja potencia para iluminación y seguridad en un campus universitario. 79</b>	
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.959</b>	<b>79</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	80
<i>DESARROLLO</i>	81
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	81
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	82
<i>METODOLOGÍA</i>	82
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	82
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	84
<i>CONCLUSIÓN</i>	84
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	85
<b>Plataforma Moodle STEAM para Aprendizaje Interactivo 86</b>	
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.960</b>	<b>86</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	88
<i>DESARROLLO</i>	89
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	92
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	92
<i>METODOLOGÍA</i>	93
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	93
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	94
<i>CONCLUSIÓN</i>	95
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	95
<b>Sincronización Maestro-Eslavo en Motores CC: Backstepping Sintonizado con GWO 96</b>	
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.961</b>	<b>96</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	97
<i>DESARROLLO</i>	98
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	98

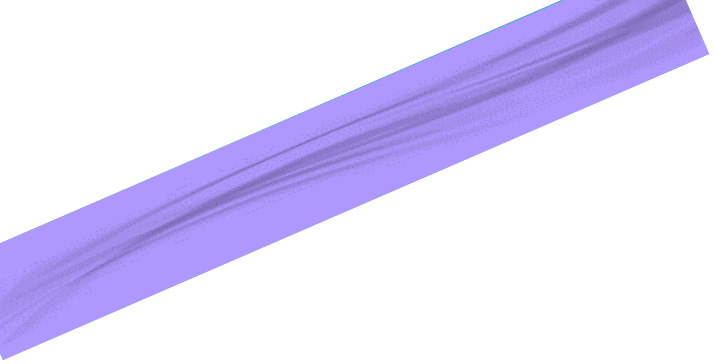
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	98
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	98
<i>METODOLOGÍA</i>	99
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	99
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	103
<i>CONCLUSIÓN</i>	106
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	106
<b>Implementación y Diseño de una HMI para el Control Maestro-Escavo de Velocidad de Motores de CC</b>	<b>107</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.962</b>	<b>107</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	109
<i>DESARROLLO</i>	110
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	110
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	110
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	110
<i>METODOLOGÍA</i>	112
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	112
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	118
<i>CONCLUSIÓN</i>	119
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	120
<b>Aplicación de Realidad Aumentada para Aprendizaje Experiencial: Plantas Arbóreas de Zonas Ribereñas</b>	<b>121</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.966</b>	<b>121</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	122
<i>DESARROLLO</i>	122
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	122
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	123
<i>METODOLOGÍA</i>	123
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	124
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	126
<i>CONCLUSIÓN</i>	128
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	128
<b>Simulación y aprendizaje matemático en el aula</b>	<b>129</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.967</b>	<b>129</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	131

<i>DESARROLLO</i>	131
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	132
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	132
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	132
<i>METODOLOGÍA</i>	132
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	133
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	138
<i>CONCLUSIÓN</i>	139
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	140
<b>Evaluación de residuos naranja y limón tratados térmicamente en la remoción de azul de metileno en solución acuosa</b>	<b>141</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.971</b>	<b>141</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	142
<i>DESARROLLO</i>	142
<i>OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS</i>	142
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	142
<i>METODOLOGÍA</i>	142
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	142
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	144
<i>CONCLUSIÓN</i>	147
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	148
<b>Implementación de la Metodología 5S en el aula de educación media superior</b>	<b>149</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.972</b>	<b>149</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	150
<i>DESARROLLO</i>	150
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	151
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	151
<i>METODOLOGÍA</i>	151
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	154
<i>CONCLUSIÓN</i>	155
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	155
<b>Desarrollo de CityReportApp: Aplicación móvil para el reporte de incidencias urbanas con enfoque de responsabilidad social</b>	<b>156</b>
<b>DOI: 10.60968/iaet.3594-035X.976</b>	<b>156</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	158

<i>DESARROLLO</i>	158
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	159
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	159
<i>METODOLOGÍA</i>	159
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	161
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	178
<i>CONCLUSIÓN</i>	179
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	179
<b>Intelligent Image Analysis For Quality Control In Welds</b>	<b>180</b>
<i>INTRODUCTION</i>	181
<i>DEVELOPMENT</i>	181
<i>GENERAL AND SPECIFIC OBJECTIVES</i>	181
<i>OBJECT OF STUDY</i>	181
<i>METHODOLOGY</i>	181
<i>RESULTS AND DISCUSSION</i>	185
<i>CONCLUSION</i>	185
<i>BIBLIOGRAPHY</i>	185
<b>Fases en el Diseño de un Molde de Inyección</b>	<b>186</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	187
<i>DESARROLLO</i>	188
<i>Objetivos</i>	189
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	189
<i>METODOLOGÍA</i>	189
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	190
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	193
<i>CONCLUSIÓN</i>	194
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	195
<b>Aplicación Web para la gestión de procesos en Telepeaje</b>	<b>196</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	197
<i>DESARROLLO</i>	198
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	198
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	198
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	198

<i>METODOLOGÍA</i>	198
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	199
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	202
<i>CONCLUSIÓN</i>	203
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	203
<b>Análisis de metodología de clasificación SUCS, caso de estudio: Colonia Parque de Poblamiento, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México</b>	<b>204</b>
<b>Analysis of the SUCS Soil Classification Methodology: Case Study at th neighborhood Parque de Poblamiento, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México</b>	<b>204</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	206
<i>DESARROLLO</i>	206
<i>OBJETIVO GENERAL DE INVESTIGACIÓN</i>	206
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN</i>	206
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	206
<i>METODOLOGÍA</i>	206
<i>FASES DE DESARROLLO</i>	208
<i>RESULTADOS</i>	208
<i>CONCLUSIONES</i>	213
<i>REFERENCIAS</i>	214
<b>Aplicación para la Asistencia en Procesos de Duelo</b>	<b>215</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	216
<i>DESARROLLO</i>	216
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	216
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	217
<i>METODOLOGÍA</i>	217
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	217
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	221
<i>CONCLUSIÓN</i>	222
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	223
<b>Atlas de riesgo como herramienta para la toma de decisiones y la resiliencia universitaria</b>	<b>224</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	225
<i>DESARROLLO</i>	225
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	225
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	226

<i>METODOLOGÍA</i>	226
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	227
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	232
<i>CONCLUSIÓN</i>	233
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	234
<b>Contaminación tecnológica en el ámbito estudiantil</b>	<b>236</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	237
<i>DESARROLLO</i>	237
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	237
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	237
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	237
<i>METODOLOGÍA</i>	237
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	238
<i>CONCLUSIÓN</i>	246
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	246
<b>Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0 (COAH-2025-C25-E019)</b>	<b>247</b>
<i>INTRODUCCIÓN.</i>	248
<i>DESARROLLO.</i>	248
<i>OBJETO DE ESTUDIO.</i>	249
<i>METODOLOGÍA.</i>	249
<i>DESARROLLO.</i>	249
<i>FASES DEL DESARROLLO.</i>	249
<i>RESULTADOS</i>	258
<i>Bibliografía</i>	258
<b>Modelo de Red Jerárquica InterVLAN para Entornos Hospitalarios</b>	<b>259</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	260
<i>OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	262
<i>OBJETO DE ESTUDIO</i>	262
<i>METODOLOGÍA</i>	263
<i>FASES DEL DESARROLLO</i>	263
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	268
<i>CONCLUSIÓN</i>	269
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	269



# VALORIZATION OF POSTHARVEST CARROT WASTE IN OBTAINING CELLULOSE BIOPLASTIC FILMS FOR COOKIES PACKAGING

10.60968/IAET.3594-035X.948

Villafaña-Jaramillo Maricela<sup>1</sup>, Muro-Urista Claudia Rosario<sup>1\*</sup>, Delgado-Hernández María Claudia<sup>1\*</sup>  
Salgado-Delgado René<sup>2</sup>, Oscar Fernando Olea-Mejía<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N Colonia Agrícola Bellavista, Metepec estado de México, México 52149, e-mail: [cmurou@toluca.tecnm.mx](mailto:cmurou@toluca.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico 27, Centro, Zacatepec, Morelos, México. C.P. 62780 e-mail: [rene.sd@zacatepec.tecnm.mx](mailto:rene.sd@zacatepec.tecnm.mx) (A.M.S.-D.)

<sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, Carretera Toluca-Atlacomulco Km 14.5, San Cayetano, 50200 Toluca, Estado de México, México, e-mail: [ofoleam@uaemex.mx](mailto:ofoleam@uaemex.mx) (O.F.O.M.)

**Research line:** Biopolymers

## Abstract

Post-harvest carrot waste from a crop in the State of Mexico was valorized for obtaining bioplastic films for application in food wrapping. Post-harvest carrot waste was used to extract cellulose, which was then plasticized with glycerol and gelatin to form a film. The resulting film was characterized to determine its surface morphology, chemical structure, hydrophobicity, water permeability, mechanical strength, and its suitability as a cookie wrapper.

From carrot waste, 28% crystalline micro-cellulose was obtained, producing transparent films with a homogeneous morphology. The chemical structure of the films indicated the presence of OH groups, due to the functional group of cellulose, as well as glycerol, water, and gelatin. The films exhibited partial hydrophobicity, reaching a contact angle of 120°, while their permeability indicated a maximum water permeability of 35%. The mechanical properties of the film showed high elongation (390%) and low strain at break with a tensile strength of 4.5 MPa. Regarding their use as cookie wrappers, the films showed a partial barrier to moisture absorption. However, compared to a conventional plastic film, they proved to be 30% less effective than polypropylene (PP) films.

**Keywords:** Bioplastic films, carrot waste, cellulose extraction, food packaging, cookie preservation, sustainable materials

## INTRODUCTION

Cookie packaging requires materials and structures that protect the food from environmental conditions, maintaining the conservation of its quality, such as texture, moisture, and flavor, during transport and shelf life.

Currently, available cookie packaging consists of transparent plastic films made of biaxially oriented polypropylene (BOPP), obtained by stretching PP in two directions (longitudinal and transverse) to improve the resistance and barrier properties against moisture and light. Metalized films are also used; the material is obtained by vacuum metallization process of the plastic (depositing vaporized aluminum onto a base plastic or plastic lamination by aluminum film with adhesives and heat) to create flexible, resistant, and shiny films that primarily preserve the freshness of the cookies.

Another material used for cookie wrapping is cellophane and its derivatives, which are made from regenerated cellulose from plant sources, forming a thin, transparent, and biodegradable film. In addition to the materials mentioned above, waxed paper is used for the same purpose. The production process involves coating paper (made from cellulose) with a thin layer of paraffin or soy wax using heated rollers or an immersion bath, creating a waterproof and non-stick barrier to protect the cookies from moisture and oxygen.

Considering the production process, toxicity, and degradation of these materials, cellophane and waxed paper are considered environmentally friendly alternatives to BOPP and metallized plastic films. These latter materials can pose health risks due to their composition (migration of microplastics, aluminum, or other toxic substances) and require excessive amounts of energy to be produced. Furthermore, they take hundreds of years to degrade (Shi et al. 2025), which has led the packaging industry to urgently seek innovative and sustainable solutions (Benitez et al. 2024).

About cellulose films, these are environmentally acceptable because cellulose, as one of the most abundant renewable resources in nature, shows outstanding advantages such as biodegradability and low toxicity, making it an ideal alternative to traditional petrochemical-based materials (Wang et al. 2025). Sources of cellulose extraction include wood, cotton, and hemp; However, other sources rich in cellulose also exist, including agro-industrial waste from various origins, as well as cellulose produced by microorganisms.

To date, several research projects are focused on obtaining cellulose films for food packaging applications, including the following: Lakshmi et al. (2017) obtained films from cellulose derived from green seaweed (*Ulva fasciata*), adding Ag nanoparticles for antimicrobial activity, with potential applications in the cosmetic, food, textile, medical, agricultural, and pharmaceutical industries. Sogut and Cakmak (2020) used film fiber as reinforcement in chitosan films, improving their mechanical properties. Choo et al. (2021) changed the surface of BC by grafting aminosilane groups and mixing it with polyvinyl alcohol, chitosan, and 4-hexylresorcinol (4-HR) to obtain a composite film with enhanced thermal and mechanical properties, as well as high oxidation resistance, for use in vacuum packaging of refrigerated beef. Nigam et al. (2021) and Raza et al. (2022) conducted a study on the valorization of agricultural waste to obtain cellulose and its application in the formulation of bioplastics.

Another study by Hendrawati et al. (2023) showed the use of rice husks to extract cellulose as reinforcement in a cassava starch bioplastic containing PVA and ZnO. Mohammed et al. (2023) combined microcrystalline cellulose from potato starch with sodium alginate to obtain a bioplastic with an improved water barrier.

In turn, Zhang et al. (2024) obtained cellulose from corn stalks to reinforce bioplastic compounds for various food packaging applications. Pardan et al. (2025) developed a film from cellulose derived from *Sargassum* sp, incorporating chitosan as an antimicrobial agent and glycerol as a plasticizer, achieving maximum mechanical resistance and antimicrobial functionality for use in food packaging. Shi et al. (2025) development a multifunctional film from bacterial cellulose (BC) from *Gluconacetobacter xylinus* (*G. xylinus*), incorporating guanidine-based polymer (PHGH)/gallic acid (GA) to produce BC-PHGH/GA, an antibacterial film, exhibiting tensile strength, ductility, and antibacterial effect against *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) to use in food packaging.

Studies focused on obtaining films for cookie packaging include the research by Lopes et al. (2024). The authors used carrot and potato waste to produce films for packaging cheese and oat cookies. In this line, the report of Benitez et al. is also cited. (2024), authors Elaborated films by drop-casting cellulose-glycerol mixtures dissolved in trifluoroacetic acid and trifluoroacetic anhydride (TFA-TFAA, 2:1, v/v), which resulted in potential packaging materials for bakery products.

According to the state of the art, research in this area has grown exponentially, remaining open to diverse possibilities for scientific contribution. However, there are few studies on applications in food and scarce reports focused on the protection and storage of cookies. This research is based on a study for using carrot waste to obtain plasticized cellulose for cookie packaging. Since carrots are a widely consumed vegetable in Mexico and generate various agri-food waste products, this proposal contributes to reducing organic waste and the use of conventional petroleum-derived materials, aligning with the principles of the circular economy and sustainability.

## *DEVELOPMENT*

The development of this research lies in the valorization of post-harvest carrot waste as a renewable source of cellulose to produce bioplastic films intended for food packaging applications. Unlike conventional plastic materials derived from petroleum, the proposed film integrates biodegradable components and utilizes agri-food residues, contributing to waste reduction and promoting circular economy principles.

The innovation of this study is based on the formulation of a plasticized cellulose film using glycerol and gelatin, achieving mechanical flexibility and partial hydrophobic behavior comparable to some commercial packaging materials. Additionally, the application of the developed film as a cookie wrapper demonstrates its functional potential in preserving product quality by reducing moisture uptake during storage, representing a sustainable alternative to conventional plastic packaging.

Overall, this development highlights the feasibility of transforming agricultural waste into value-added materials with practical applications in dry food packaging, supporting environmentally friendly solutions for the food and packaging industries.

## *GENERAL AND SPECIFIC OBJECTIVES*

### **General objective:**

To develop and evaluate a bioplastic film from cellulose obtained from post-harvest carrot waste for application as a cookie-wrapping material, analyzing its physicochemical and mechanical properties as well as its capacity to preserve product quality during storage.

### **Specific objectives:**

Obtain cellulose from post-harvest carrot waste through an alkaline and acid hydrolysis process, followed by bleaching.

Produce bioplastic films from carrot cellulose using glycerol and gelatin as plasticizers.

Characterize the bioplastic film through surface morphology analysis (SEM), chemical structure (FTIR), hydrophobicity, water absorption and mechanical properties.

Analyze the application of the bioplastic film as a cookie wrapper, comparing its performance to unwrapped cookies and cookies wrapped in polypropylene (PP).

## *OBJECT OF STUDY*

The object of study of this research is the production and characterization of bioplastic films from cellulose from postharvest carrot waste for application as a wrapping material for cookies. The study was conducted in the Membrane Laboratory of the Tecnológico Nacional de México, Campus Toluca, focusing on the extraction of cellulose, film formulations, physicochemical characteristics determination, including their performance as a sustainable food packaging material.

## *METHODOLOGY*

The present research was conducted using a quantitative scientific methodology, focused on the experimental development and evaluation of a bioplastic film obtained from cellulose extracted from postharvest carrot waste. This approach was selected to allow objective measurement of the physicochemical, mechanical, and functional properties relevant to food packaging applications.

The methodology comprised four main phases. First, carrot waste was processed through drying, grinding, alkaline and acid hydrolysis, and bleaching to obtain cellulose suitable for film formation. Second, bioplastic films were prepared by casting a homogeneous mixture of cellulose, glycerol, gelatin, and distilled water under controlled temperature conditions. In the third phase, the films were characterized in terms of surface morphology, chemical structure, hydrophobicity, water absorption, and mechanical properties using standardized techniques. Finally, the films were applied as cookie wrappers and evaluated under controlled storage conditions, monitoring changes in moisture absorption and weight in comparison with control samples.

## DEVELOPMENT PHASES

### WASTE COLLECTION AND RECONDITIONING

15 kg of post-harvest carrot waste (24 h), including non-whole, cracked pieces and those with secondary roots, were provided by a farmer from the State of Mexico, after the selection of carrot pieces for packing.

Five-kilogram portions of the carrot pieces were placed in plastic bags and numbered. They were then immediately sliced into thin strips and dried in a convection oven (Riossa HCF-62) at 50°C for 24 hours. Once dry, the product was ground and sieved, yielding carrot powder for subsequent use in cellulose extraction. Four bags of dried carrot powder were then formed.

### OBTAINING CELLULOSE FROM CARROT WASTE

Cellulose from carrot waste was obtained through an alkaline and acid hydrolysis process under previously studied conditions. The powder from each bag of carrots was mixed with a 2% weight sodium hydroxide solution in a 1:3 ratio. The mixture was heated to 90°C for 90 minutes with stirring, resulting in a pulp. The mixture was filtered through filter paper, retaining the pulp. The pulp was then washed with distilled water until the wash water reached a neutral pH.

Subsequently, the pulp obtained from alkaline hydrolysis was subjected to acid hydrolysis by placing it in a beaker and adding a 6% by weight sulfuric acid solution in a 1:3 ratio at 90 °C for 60 min with stirring. This process yielded a pulpy product, identified as cellulose. The product was filtered and washed with distilled water until the wash water reached a neutral pH. The cellulose was bleached using a 2.5% weight sodium hypochlorite solution in a 1:5 ratio and dried in an oven at 90 °C for 15 min with stirring. It was then dried in an incubator (Heidolph 1000) at 40 °C for 12 hours. The dried material was then ground and sieved. The material was stored in glass bottles for later analysis and use.

### PREPARATION OF THE BIOPLASTIC FILMS FROM CARROT WASTE

Plastic films were obtained from carrot waste cellulose powder using glycerol, gelatin, and water. The process involved combining 100 g of carrot waste powder with 5 L of water, 200 mL of glycerol, and 170 g of gelatin. The components were mixed at 90°C for 15 minutes, resulting in a homogeneous mixture.

The mixture was placed in a silicone mold to form the film and dried in a Heidolph incubator at 22 °C (1000 Unimax 17249) for 18 hours. The plastic film was then removed from the mold, cut into 10 x 10 cm squares, and stored for later analysis and use.

### DETERMINATION OF THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BIOPLASTIC FILMS FROM CARROT WASTE

The bioplastic film samples were characterized using the following parameters and methods.

- 1) Surface morphology by scanning electron microscopy (SEM) with a JEOL microscope (JSM 6010 LV) without metallic coating.
- 2) Analysis of the chemical structure of the film by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), using a Jasco ATR Pro 4X FT/IR. The wavenumber range used in the analysis was 400–400 cm<sup>-1</sup> in ATR mode.
- 3) Hydrophobicity, determining the contact angle with a goniometer, placing 1 μL of distilled water on the surface of the film (solid-liquid interface) at a temperature of 18.5 °C. The data obtained were processed in the Geo Gebra image editor to measure the angle formed by the water droplet on the surface.
- 4) Water absorption (%). The films previously weighed were placed in at constant relative humidity (RH) conditions of 40-60% at 25°C. After 10 days, samples were weighed, and the amount of adsorbed water was calculated as a percentage using the equation (1), recording the initial weight before exposure to moisture (wi) and the final weight after exposure to moisture (wf).

$$\text{Water uptake (\%)} = (w_i - w_f) \times 100/w_f \quad (1)$$

- 5) Tensile strength of the material, in accordance with the ASTM D-882 tensile standard for plastic films, using an INSTRON universal testing machine (3340 USA). The parameters measured were elongation, deformation, and tensile strength.

- 6) Application of bioplastic film from carrot waste for cookie wrapping.

Commercial vanilla cookies were used in this test. To use the films as cookie wrappers, the bioplastic films were sealed to create a pouch, inside which a cookie was placed. A PP bag and an unwrapped cookie were used as a control.

The bags covering the cookies were stored at a temperature of 25°C and exposed to relative humidity of 40 and 60%. The preservation performance of the packaged cookies was evaluated by changes in color and weight, recording the initial and final characteristics during 30 days of storage.

The results of the film characterization and its application in cookie wrapping refer to data from three measurements and three replications of the film.

## RESULTS AND DISCUSSION

### OBTAINING CELLULOSE FROM CARROT WASTE

The rendering of carrot waste powder was, for each 5 kg bag of fresh carrot waste were obtained 1.45-1.50±0.1 kg, with a particle size of 160 microns.

In turn, 28-29% by weight of cellulose was obtained through the dry powder of the carrot waste, producing 0.5-0.52 kg of whitish cellulosic material in powder, with particle size of 160 microns. Due to cellulose extraction process, the product was identified as crystalline cellulose (Benitez et al. 2024).

Sogut and Cakmak et al. (2020) previously obtained cellulose from carrots; however, authors obtained cellulose from whole carrot pieces. Thus, postharvest waste can be used to obtain similar productivity of cellulose.

### OBTAINING AND CHARACTERIZING THE CELLULOSE BIOPLASTIC FILM FROM CARROT WASTE

Films from cellulose from carrot waste were transparent with a thickness of 0.082 mm and appearance as conventional plastic. By the cut of the films, they measured 10 x 10 cm<sup>2</sup>.

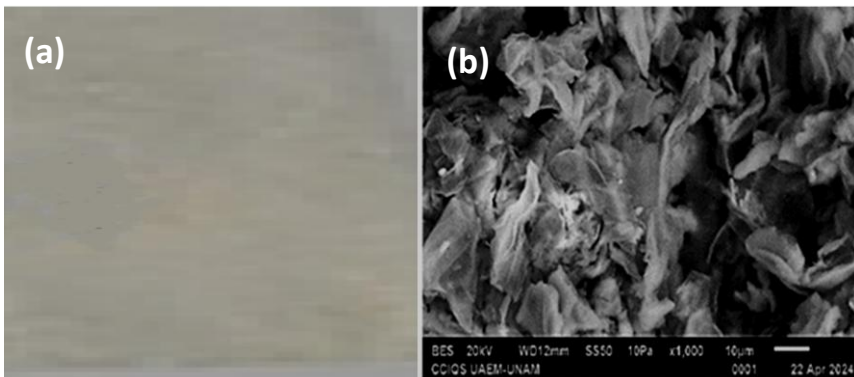
Considering three representative samples from each bag of stored cellulose, the physicochemical characteristics of the films were as follows.

### MORPHOLOGICAL ASSETS OF THE FILMS

Figure 1 shows, a) a photograph of the bioplastic film made from carrot waste cellulose, showing homogeneous and uniform surface. The very smooth surface of the films indicates the total removal of the amorphous parts of cellulose. b) SEM image shows surface morphology of the films from cellulose of carrot waste, comprising microfibrils of variable size and shape (10 microns in diameter), demonstrating that films contain micro crystalline cellulose, because Dar et al. (2023) obtained films based on commercial microcrystalline cellulose, showing transparent films with similar SEM images.

**Figure 1**

*Image (a) and SEM Micrograph (b) of Plasticized Cellulose Film Obtained from Carrot Waste.*



**Note.** (a) Image of the plasticized cellulose film derived from carrot waste; (b) scanning electron microscopy (SEM) of the same material. Source: Author's own elaboration.

### CHEMICAL STRUCTURE OF THE FILMS

Figure 2 shows the FTIR spectrum of cellulose from carrot waste and the resulting films, indicating the main bands of the chemical groups. The chemical structure of cellulose (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>, as a linear polymer, is an unbranched polysaccharide composed of long chains of glucose units linked by beta (1→4) glycosidic bonds. Therefore, the main groups are OH, CH, and CO. The absorption band at 3600–3200 cm<sup>-1</sup> is attributed to OH stretching vibrations, illustrating hydrogen bonding. CH stretching vibrations occur within the range of 2900–2840 cm<sup>-1</sup> (Wardhono et al. 2025) and originate from the methylene and methyl groups within the glucopyranose rings.

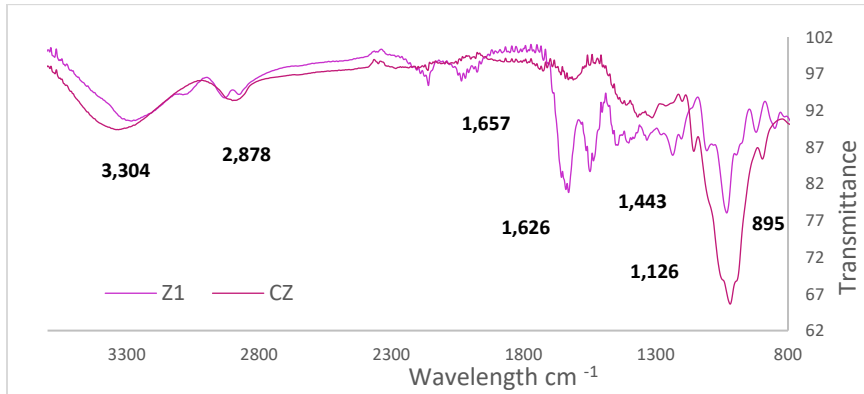
The region between 1620 and 1640 cm<sup>-1</sup> corresponds to the bending of OH groups of the adsorbed water, indicating that cellulose is hygroscopic (Sogut and Cakmak, 2020; Khan et al., 2025). The band between 1430–1449 cm<sup>-1</sup> corresponds to the ordered regions of cellulose. The notable absorptions between 1105 and 1050 cm<sup>-1</sup> result from C–O stretching in the rings. This is the characteristic region of cellulose (Amin et al., 2019; Raza et al., 2022).

The peak at  $897\text{ cm}^{-1}$  corresponds to C–H bonding of  $\beta$ -glycosidic linkages. This peak indicates the  $\beta$ -1,4 structure of cellulose (Zhang et al., 2024; Makhado et al., 2025).

The IR spectrums were comparable to study from Salim et al., (2021). They presented the IR spectrum of cellulose from *Leucaena leucocephala*, showing similar chemical groups of cellulose from waste carrot.

**Figure 2**

*FTIR Spectra of Cellulose Extracted from Carrot Waste and the Corresponding Bioplastic Film from cellulose from carrot waste.*



**Note.** The FTIR spectra shows the characteristic absorption bands of cellulose from carrot waste (CZ) and films from cellulose from carrot waste (Z1).

### HYDROPHOBICITY OF THE FILM

The bioplastic film made from carrot waste cellulose showed a contact angle of  $120^\circ$ , indicating that it has  $30^\circ$  of hydrophobicity. In comparison with other studies, Mroczkowska et al. (2024) found that potato starch, gelatin, and cutin films extracted from tomato peel and waste exhibited similar hydrophobicity, while Sangsawang et al. (2025) reported that vanadium metallopolymer films (made from starch, chitosan, and submerged in vanadium salt) exhibited hydrophobic properties of  $13^\circ$ .

### WATER PERMEABILITY OF THE FILM

The cellulose film made from carrot waste showed a water absorption capacity of  $35 \pm 0.5\%$ . In comparison with other bioplastic films, Mirpoor et al. (2023) reported that a plastic obtained from protein extracts of seed oil byproducts has a water absorption capacity of 41–53%, while Ranote et al. (2024) reported comparable results in *Moringa oleifera* rubber /polyvinyl alcohol films. Mroczkowska et al. (2024) studied cutin-coated bioplastics, showing 48–58% water absorption in 24 h, while the films reported by Pérez-Marroquín et al. (2022), based on starch and gelatin, showed a water absorption capacity of 30%.

### MECHANICAL RESISTANCE OF THE FILM

Table 1 shows the values obtained for the mechanical properties of the film using Young's modulus, and Figure 3 shows the mechanical resistance of the film by tensile deformation.

According to Young's modulus results, the film shows limited stiffness and a high deformation capacity, exhibiting plastic characteristics due to the glycerol and gelatin content. Interactions between hydroxyl groups and cellulose resulting in more flexible material.

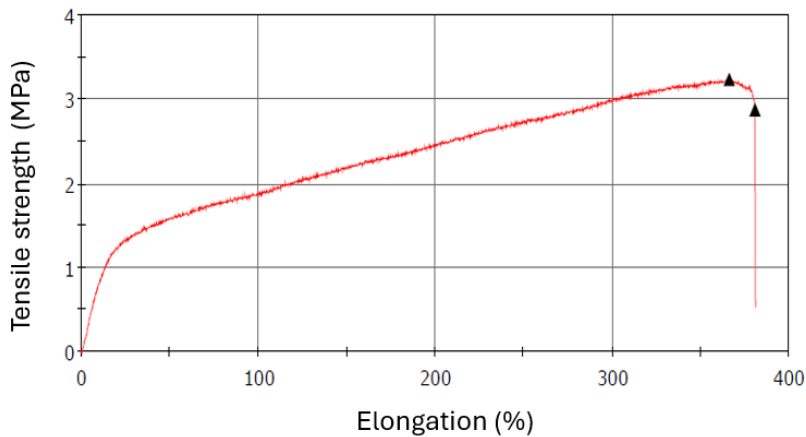
**Table 1**

*Mechanical Properties of the Cellulose Film Made from Carrot Waste.*

Tensile strength (MPa)	Deformation (%)	Young's modulus	
		MPa	Standard deviation of three samples
4,512	390,824	2,611	1.113

**Figure 3**

*Stress–Strain Curve of the Bioplastic Film Obtained from Carrot Waste Cellulose.*



**Note.** The tensile strength–elongation behavior of the cellulose-based bioplastic film was determined according to the ASTM D882 standard. The curve shows a progressive increase in tensile strength with elongation, at break of about 390%, indicating high flexibility and ductile behavior due to the plasticizing effect of glycerol and gelatin.

The film presented an elongation value of 390%, which was comparable to PET and nylon (Benítez et al. 2024).

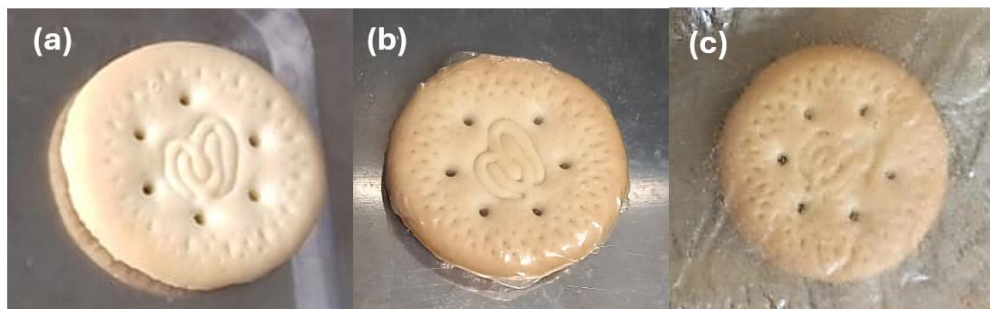
The research by Szlachetka et al. (2021) reported on the mechanical properties of low-density polyethylene (LDPE), indicating a tensile strength of 7.2–16.7 MPa and a deformation of 390–480%. In turn, Benitez et al. (2024) studied a film made from commercial cellulose with the inclusion of glycerol to exert a plasticizing influence on the film's mechanical properties. They found that with 28% glycerol in microcrystalline cellulose, the film achieved a tensile strength of 35 MPa and a 20% strain at break, while with 50% glycerol, the elongation increased to 30%.

#### APPLICATION OF FILMS AS COOKIE WRAPPERS

Figure 4 shows images of the cookies and the bioplastic film used as wrapping, including the control samples (cookie without wrapping and cookie with PP wrapping) at the beginning of their storage.

**Figure 4**

*Visual Comparison of Cookies under Different Packaging Conditions at the Beginning of Storage.*



**Note.** The images show (a) an unwrapped cookie used as the control sample, (b) a cookie wrapped with a commercial polypropylene (PP) film, and (c) a cookie wrapped with the bioplastic film developed from cellulose extracted from post-harvest carrot waste.

Table 2 shows the monitoring of the moisture absorption percentage of the cookies, during 15 days of storage and under the two humidity exposure conditions.

**Table 2***Moisture Absorption (%) of the Cookies Subjected to the Wrapping Test.*

Sample number	Humidity condition%	40			60		
		Storage days	5	10	15	5	10
1	Unwrapped cookie	10	16	29	25	34	41
2	Cookie with cellulose wrapper made from carrot waste	3.4	5.1	7.2	7.5	8.2	9.7
3	Cookie with PP film	1.8	3.5	5.9	3.1	4.8	6.4

At time  $t=0$ , the cookies have a moisture content of 1.2% and a crisp texture, conservating their round shape, as do the films used in this test. However, during storage, the cookies absorb moisture, causing softening and weight gain, which determines the increase in the cookie's moisture content.

Exposure of the cookies to humidity caused an increase in their weight due to the absorption of water present in the humid air; water absorption was dependent on humidity levels and packaging conditions. As expected, the unwrapped control cookies showed the greatest increase in moisture, and this increase was dependent on the humidity conditions to which they were exposed, negatively affecting product quality.

In contrast, cookies wrapped in PP films offered the highest moisture protection, while cookies wrapped in carrot waste cellulose films showed a partial moisture barrier, improving product preservation compared to unwrapped cookies. However, compared to PP, the carrot waste cellulose bioplastic absorbed twice as much moisture, indicating a need to improve its moisture barrier capacity; nevertheless, the potential of this material in food packaging applications is highlighted.

In the case of unwrapped cookies, their texture changed from crisp to soft, while wrapped cookies exposed to 40% humidity retained their crispness. After 15 days of exposure to 60% humidity, the cookies wrapped in cellulose made from carrot waste showed the beginnings of softening.

Previous studies have demonstrated the potential of biofilms made from natural biopolymers to preserve food and extend their shelf life. Molnar et al. (2023) developed an edible biopolymer based on chitosan and gum arabic enriched with grape seed extract. In this case, the biopolymer was used as a coating for whole-grain cocoa and oat cookies. During six months of storage, the physicochemical properties of products were enhanced (flavor, flavonoid content, antioxidant potential, as well as their hardness and resistance). Lopes et al. (2024) developed heat-sealable bioplastic films from carob and potato byproducts for packaging oat cookies. These bioplastics films actively contributed to reducing volatile compounds derived from oxidation after 21 days of storage, maintaining their textural properties compared to oat cookies packaged in PP-based plastic.

## CONCLUSION

The results of this study demonstrate that post-harvest carrot waste is a viable source of cellulose for the development of bioplastic films for food packaging applications. The extraction process yielded approximately 28–29% cellulose by weight, producing crystalline cellulose comparable to that reported in previous studies using agro-industrial residues, confirming the feasibility of valorizing carrot waste.

In turn, the bioplastic films from cellulose from carrot waste exhibited a homogeneous morphology and adequate physicochemical properties, with a thickness of 0.082 mm and partial hydrophobic behavior, evidenced by a contact angle of 120°. Mechanical analysis revealed a high elongation at break of 390%, indicating a flexible material suitable for wrapping applications. This elongation was comparable to that of conventional polymers such as PET and nylon, which it is attributed to the plasticizing effect of glycerol and gelatin, in agreement with related literature.

In application tests, the cellulose-based films provided partial protection against moisture absorption in cookies, reducing moisture uptake by up to 60% compared to unwrapped samples during storage, although their barrier performance remained approximately 30% lower than that of polypropylene (PP) films. These results highlight both the functional potential of the developed films and their limitations related to moisture sensitivity.

Overall, the findings confirm that bioplastic films derived from carrot waste cellulose represent a promising and sustainable alternative for dry food packaging, contributing to agro-industrial waste valorization and circular economy strategies. Further research should focus on improving moisture barrier properties to enhance the competitiveness of these materials with conventional plastic packaging.

## REFERENCES

- Amin, M.R., Chowdhury, M.A., & Kowser, M.A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5(8), e02009. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>.
- Benitez, J. J., Florido-Moreno, P., Porras-Vázquez, J. M., Tedeschi, G., Athanassiou, A., Heredia-Guerrero, J. A., & Guzman-Puyol, S. (2024). Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273(Pt 2), 132956. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132956>
- Choo, K. W., Dhital, R., Mao, L., Lin, M., & Mustapha, A. (2021). Development of polyvinyl alcohol/chitosan/modified bacterial nanocellulose films incorporated with 4-hexylresorcinol for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 30(100769), 100769. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100769>
- Dar, A., Rehman, R., Jamil, N., Samin, G., Jahangir, M., Al-thagafi, Z. T., ... & Mitu, L. (2023). Study of Antimicrobial Potency of Synthesized Cellulose-Based Nanocomposite Films Incorporating Bi-Fe-Sn Trimetallic Microcrystalline Using Terminalia arjuna Leaf Extract for Packaging and Medicinal Applications. *Journal of Chemistry*, 2023, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2023/6122583>
- Hendrawati, Liandi, A. R., Ahyar, H., Maladi, I., Azhari, A., & Cornelia, M. (2023). The influence of the filler addition of rice husk cellulose, polyvinyl alcohol, and zinc oxide on the characteristics of environmentally friendly cassava biodegradable plastic. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8(100520), 100520. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100520>
- Khan, MN, Ahmad, A., Rehman, N., Kelestemur, S., Tariq, M., Jan, AK, Ahmad, S., Eisele, DM, Syed, W., & Al-Rawi, MBA (2025). Extraction and characterization of cellulose and cellulose nanocrystals from the stalks of Marrubium vulgare plant. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 11 (100947), 100947. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100947>
- Lakshmi, D. S., Trivedi, N., & Reddy, C. R. K. (2017). Synthesis and characterization of seaweed cellulose derived carboxymethyl cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1604–1610. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.042>
- Lopes, J., Pettersen, MK, Grøvlen, MS, Sharmin, N., Li, KD, Wetterhus, E., Ferreira, P., Coimbra, MA, & Gonçalves, I. (2024). Heat-sealable bioplastic films of blended locust bean and potato byproducts for active packaging of fatty foods: Cheese and oat cookies as case studies. *Food Hydrocolloids*, 147 (109322), 109322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109322>
- Makhado, E., Seleka, W.M., Mahlaule Glory, L., Selowa, K., Abu Elella, M.H., Botlhoko, O.J., Satekge, T.K., & Hato, M.J. (2025). Comparative extraction and characterization of cellulose nanostructures from sawdust and maize stalk biomass. *International Journal of Biological Macromolecules*, 329 (Pt 1), 147842. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.147842>
- Mirpoor, SF, Ibáñez-Ibáñez, PF, Giosafatto, CVL, del Castillo-Santaella, T., Rodríguez-Valverde, MA, & Maldonado-Valderrama, J. (2023). Surface activity of protein extracts from seed oil by-products and wettability of developed bioplastics. *Food Hydrocolloids*, 145(109091), 109091. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109091>
- Mohammed, A., Gaduan, A., Chaitram, P., Pooran, A., Lee, K.-Y., & Ward, K. (2023). Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 135(108192), 108192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108192>
- Molnar, D., Nikolac Gabaj, N., Vujić, L., Ščetar, M., Krisch, J., Miler, M., Štefanović, M., & Novotni, D. (2023). Application of fruit by-products and edible film to cookies: Antioxidant activity and concentration of oxidized LDL receptor in women—A first approach. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 13 (9), 5513. <https://doi.org/10.3390/app13095513>
- Mroczkowska, M., Culliton, D., Germaine, KJ, Hegde, M., Tobin, E.F., & Neves, A.C. (2024). Valorization of tomato waste as a source of cutin for hydrophobic surface coatings to protect starch- and gelatine-blend bioplastics. *Biomass (Basel, Switzerland)*, 4 (3), 990–1004. <https://doi.org/10.3390/biomass4030055>
- Nigam, S., Das, A. K., & Patidar, M. K. (2021). Valorization of Parthenium hysterophorus weed for cellulose extraction and its application for bioplastic preparation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105424. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105424>
- Pardan, N.A., Ahmad, A., Natsir, H., Taba, P., Wahab, A.W., Rasyid, H., Arfah, R.A., & Karim, H. (2025). Comparative Study On The Mechanical Properties Of Edible Films With Varying Cellulose Concentrations Derived From Sargassum sp. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(6), 2538-2542. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i6.27>
- Pérez-Marroquin, Development of a biomaterial based on chayotextle starch (Sechium Edule)-gelatin blend. Molecular, mechanical, physical, barrier and structural properties. *Biotechnics*, 24(3), 107–114. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i3.1682>
- Ranote, S., Kowalczyk, M., Guzenko, N., Duale, K., Chaber, P., Musioł, M., Jankowski, A., Marcinkowski, A., Kurcok, P., Chauhan, G.S., Chauhan, S., & Kumar, K. (2024). Towards scalable and degradable bioplastic films from Moringa oleifera gum/ poly ( vinyl alcohol) as packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 269(Pt 2), 132219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132219>
- Raza, M., Abu-Jdayil, B., Banat, F., & Al-Marzouqi, A. H. (2022). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from date palm waste. *ACS Omega*, 7(29), 25366–25379. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02333>
- Sangsawang, P., Wisuttirattanamanee, C., Aueng-Aree, N., Thivasasith, A., Ittisanronnachai, S., Kaiyasuan, C., Ngamroj, P., Phophuttharaksa, N., Tanalikhit, P., Chavanalikhigorn, N., & Mueanngern, Y. (2025). Bifunctional metavanadate promoted chitosan/cassava biopolymer films with photo-switchable wetting properties: unveiling the surface restructuring mechanism. *RSC Advances*, 15(10), 7758–7768. <https://doi.org/10.1039/d4ra08196j>

- Md Salim, R., Asik, J., & Sarjadi, M. S. (2021). Chemical functional groups of extractives, cellulose and lignin extracted from native *Leucaena leucocephala* bark. *Wood Science and Technology*, 55(2), 295–313. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01258-2>
- Shi, X., Yang, Y., Miao, W., Duan, Q., Huang, Y., Xiao, H., & Li, C. (2025). Active biodegradable bacterial cellulose films with potential to minimize the plastic pollution: Preparation, antibacterial application, and mechanism. *Food Chemistry*, 464(Pt 3), 141852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141852>
- Sogut, E., & Cakmak, H. (2020). Utilization of carrot (*Daucus carota* L.) fiber as a filler for chitosan based films. *Food Hydrocolloids*, 106(105861), 105861. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105861>
- Szlachetka, O., Witkowska-Dobrev, J., Baryła, A., & Dohojda, M. (2021). Low-density polyethylene (LDPE) building films – Tensile properties and surface morphology. *Journal of Building Engineering*, 44(103386), 103386. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103386>
- Wang, C., Cao, H., Jia, L., Liu, W., & Liu, P. (2022). Characterization of antibacterial aerogel based on  $\epsilon$ -poly-L-lysine/nanocellulose by using citric acid as crosslinker. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119568. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119568>
- [1] Wardhono, E., Kustiningsih, I., Yustanti, E., Kurniawan, B., Sukamto, D., Meliana, Y., & Guénin, E. (2025). Enhanced cellulose extraction from delignified oil palm empty fruit bunches using sequential ultrasound-microwave processing. *South African Journal of Chemical Engineering*, 54, 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2025.07.015>
- Zhang, W., Wang, T., Jiang, Z., Gao, X., Sun, C., & Zhang, L. (2024). Green preparation and functional properties of reinforced all-cellulose membranes made from corn straw. *Membranes*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.3390/membranes14010016>

# PRÓTESIS MIOELÉCTRICA PERSONALIZADA PARA PERSONAS CON ECTRODACTILIA MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO

10.60968/IAET.3594-035X.949

Dr. Omar Barragán Pérez<sup>1</sup>, Dr. Edgar Omar Curiel Anaya<sup>2</sup>, Dra. Gabriela Gaviño Ortiz<sup>3</sup>,  
Dr. Esteban Sánchez Escarriola<sup>4</sup>, David Galán García<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>TecNM Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [omar.bp@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:omar.bp@cuautitlan.tecnm.mx) <sup>2</sup>TecNM Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [edgar.ca@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:edgar.ca@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>3</sup>CU UAEM Valle de México, e-mail: [ggavinoo@uaemex.mx](mailto:ggavinoo@uaemex.mx)

<sup>4</sup>TecNM Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [esteban.se@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:esteban.se@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>5</sup>TecNM Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [213113008@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:213113008@cuautitlan.tecnm.mx)

## Línea de investigación: Ingeniería Mecatrónica

### Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una prótesis mioeléctrica personalizada, orientada a personas con ectrodactilia, haciendo énfasis en un caso pediátrico con trastorno del espectro autista (TEA). La propuesta integra tecnologías accesibles y de bajo costo, como la fotogrametría digital mediante MATLAB para el modelado anatómico, el diseño e impresión 3D con PETG (Polietileno Tereftalato Glicolizado) para la estructura protésica, y un sistema electromiográfico (EMG) basado en Arduino para la adquisición y procesamiento de señales musculares. El proceso metodológico se estructuró en cinco fases: modelado anatómico virtual por medio de nube de puntos, fabricación aditiva de la prótesis, desarrollo de un circuito EMG (Electromiografía) personalizado con filtrado analógico (pasa-banda), integración del sistema de control mediante microcontrolador, y validación funcional con pruebas de respuesta y confort. Se implementó un algoritmo de activación por umbral que permite el control de un servomotor para la función de agarre, logrando tiempos de respuesta inferiores a 100 milisegundos. Los resultados demuestran la viabilidad técnica y funcional del prototipo, destacando su ergonomía, adaptabilidad y bajo costo de fabricación. El sistema representa una alternativa replicable y escalable para la rehabilitación motora en poblaciones con malformaciones congénitas, ofreciendo un enfoque personalizado que considera tanto las limitaciones anatómicas como las necesidades sensoriales específicas de usuarios con TEA. Este trabajo contribuye al campo de las prótesis accesibles, combinando herramientas de software libre, electrónica abierta y manufactura digital.

*Palabras clave: Electromiografía, Fotogrametría, Impresión 3D, Prótesis Mioeléctrica, Ectrodactilia.*

### Abstract

This article presents the development of a customized myoelectric prosthesis for individuals with ectrodactyly, focusing on a pediatric case with autism spectrum disorder (ASD). The proposal integrates accessible, low-cost technologies, including digital photogrammetry via MATLAB for anatomical modeling using point clouds, 3D design and printing with PETG for the prosthetic structure, and an Arduino-based electromyographic (EMG) system for muscle signal acquisition and processing. The methodological process was structured into five phases: virtual anatomical modeling via point clouds, additive manufacturing of the prosthesis, development of a custom EMG circuit with analog band-pass filtering, integration of the control system using a microcontroller, and functional validation through response and comfort testing. A threshold-based activation algorithm was implemented to control a servo motor for gripping function, achieving response times under 100 milliseconds. The results demonstrate the technical and functional feasibility of the prototype, highlighting its ergonomics, adaptability, and low manufacturing cost. The system represents a replicable and scalable alternative for motor rehabilitation in populations with congenital malformations, offering a personalized approach that considers both anatomical limitations and specific sensory needs of users with ASD. This work contributes to the field of accessible prosthetics by combining free software tools, open electronics, and digital manufacturing.

*Keywords: Electromyography, Photogrammetry, 3D Printing, Myoelectric Prosthesis, Ectrodactyly.*

## *INTRODUCCIÓN*

La ectrodactilia, es una malformación congénita caracterizada por la ausencia parcial o total de uno o más dedos, limitando significativamente la capacidad funcional de la extremidad superior en algunos casos (algunos otros pueden ser funcionales) y afectando la realización de actividades básicas de la vida diaria (OMS, 2017). A nivel mundial, se estima que las malformaciones congénitas de las extremidades superiores afectan a aproximadamente 6 de cada 10,000 nacidos vivos, representando un desafío tanto clínico como psicosocial para los pacientes y sus familias.

En particular, los casos pediátricos asociados con trastorno del espectro autista (TEA) presentan un reto adicional, debido a la sensibilidad extrasensorial, la dificultad para la adaptación a dispositivos externos y la necesidad de personalización exhaustiva que requiere esta población (Farrel et al., 2007). Frente a esta problemática, las prótesis mioeléctrica convencionales, aunque funcionales, suelen ser de alto costo, de ajuste genérico y poco adaptables a las necesidades sensoriales específicas de niños con TEA, lo que limita su adopción y uso efectivo (Tam et al., 2021).

El desarrollo de prótesis de miembro superior ha evolucionado desde dispositivos mecánicos pasivos hasta sistemas mioeléctricos controlados por señales musculares. En los últimos años, la integración de tecnologías digitales como la impresión 3D, la fotogrametría y los sistemas embebidos de bajo costo ha permitido avanzar hacia soluciones personalizadas y accesibles (Ismail et al., 2023). Autores como (Sun et al., 2012) han trabajado en el preprocesamiento y extracción de señales EMG superficiales para el control protésico, mientras que en el ámbito del modelado anatómico, técnicas de reconstrucción 3D mediante nubes de puntos han demostrado ser efectivas para la personalización de dispositivos ortopédicos (Schipper et al., 2024). A pesar de estos avances, persiste una brecha en el desarrollo de prótesis que no solo restauren la función motora, sino que también atiendan aspectos sensoriales, ergonómicos y de costo, especialmente en poblaciones con doble condición como la ectrodactilia y el TEA.

## *DESARROLLO*

El desarrollo de la prótesis se fundamentó con el propósito de ofrecer una solución viable, económicamente accesible y sensorialmente adaptada a usuarios con ectrodactilia, particularmente en casos pediátricos asociados al trastorno del espectro autista (TEA) (Biddiss & Chau, 2007). Se priorizó dos pilares fundamentales: minimización de costos mediante la selección de componentes electrónicos abiertos y técnicas de fabricación digital, y adaptabilidad sensorial para reducir la sobreestimulación sensorial característica del TEA (Bouwsema, van der Sluis, & Bongers, 2014).

## *OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

Diseñar y desarrollar una prótesis mioeléctrica personalizada para niños con ectrodactilia y trastorno del espectro autista (TEA), que restaure la función de agarre mediante tecnologías de bajo costo, con énfasis en la ergonomía, adaptabilidad sensorial y replicabilidad técnica.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio es una prótesis mioeléctrica personalizada para un niño con ectrodactilia y TEA. Se centra en el sistema de adquisición de señales musculares, el diseño ergonómico de la estructura protésica y la integración de componentes electrónicos de bajo costo. La investigación aborda la viabilidad técnica y funcional de una solución protésica accesible, replicable y adaptable a diferentes usuarios.

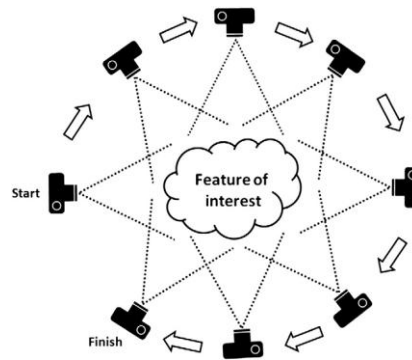
## *METODOLOGÍA*

La metodología utilizada fue mediante la arquitectura de cuatro etapas para la generación de la prótesis, para la primer etapa se centra en la reconstrucción 3D de la geometría del paciente utilizando fotogrametría digital basado en Matlab, la fotogrametría se ha convertido en una herramienta poderosa y ampliamente utilizada para la modelación topográfica tridimensional (Remondino y El-Hakim, 2006; Matthews, 2008; Fraser y Cronk, 2009). El desarrollo de la triangulación en “soft-copy” y de algoritmos de extracción de terreno basados en imágenes ha mejorado radicalmente la calidad de los datos topográficos que pueden derivarse de pares estereoscópicos superpuestos (Chandler, 1999; Lane et al., 2000).

De manera similar, los avances en el costo y la calidad de las cámaras compactas y de las cámaras réflex de lente única (SLR), así como de los métodos para la calibración de este tipo de cámaras no métricas (Clarke y Fryer, 1998; Chandler et al., 2005; Remondino y Fraser, 2006), han democratizado el acceso a la modelación fotogramétrica y han fomentado una amplia gama de usos en la geomorfología.

**Figura 1.**

Estructura a partir de Movimiento (SfM) por sus siglas en inglés (Westoby et al,2012)

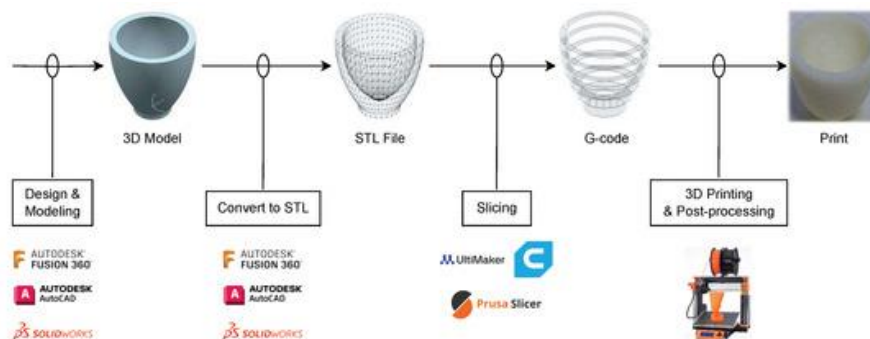


La adquisición de las señales EMG (Electromiografía) que es la señal eléctrica resultante de la actividad de las fibras musculares, generada por la descarga de las motoneuronas y constituye una medida indirecta de la activación neuronal del musculo. Su análisis permite estudiar como el sistema nervioso controla el movimiento, aunque su interpretación directa es compleja por la naturaleza transformada y superpuesta de la señal según (Farina, Merletti, & Enoka, 2014).

La fabricación de la carcasa se elaboro mediante el uso de la manufactura aditiva que es un proceso de fabricación basado en la adición secuencial de material capa por capa a partir de un modelo 3D, que permite producir piezas complejas con alto grado de personalización y mínimo desperdicio. Reconocida por la ISO como un proceso de unión de materiales de acuerdo con (Zhou et al, 2024).

**Figura 2.**

Flujo de trabajo general del proceso de manufactura aditiva ((Zhou et al, 2024).



Finalmente, el sistema de control utilizado es el control ON-OFF simple y tradicional de control mioeléctrico para prótesis. Consiste en detectar señales musculares (EMG) que exceden un umbral de activación; si la señal supera el umbral, se ejecuta un comando (ON), y si no lo hace, el sistema permanece inactivo (OFF). (Mohebbian et al, 2021).

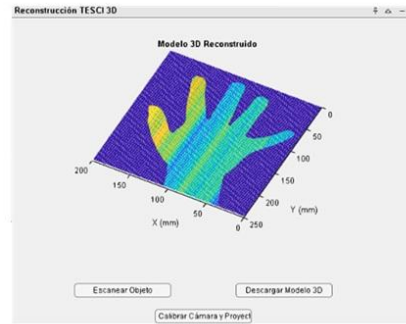
## FASES DEL DESARROLLO

*Modelado anatómico y virtual mediante fotogrametría digital:* Utilizando principios de fotogrametría de bajo costo y procesamiento de imágenes, se implementó un flujo de trabajo basado en MATLAB para reconstruir la geometría 3D de la extremidad. Esta metodología, validada en aplicaciones de ingeniería inversa para dispositivos médicos, permite una personalización sin necesidad de contar con escáneres 3D profesionales, reduciendo barreras económicas (López, Diego, & Fernández, 2019). El modelo 3D resultante se exportó a SolidWorks para el diseño paramétrico del encaje y los componentes protésicos, asegurando ajuste y ergonomía. Para lograr lo anterior se tomó una fotografía del paciente Figura 1 a) para usar la *técnica espejo* y así generar la plantilla base en 2D Figura 1 b).

**Figura 3**  
*Plantilla base en 2D*



a) Fotografía de mano para uso de técnica espejo.



b) Interfaz en MATLAB generadora de plantilla 2D en sólido.

El proceso de diseño en SolidWorks para la prótesis se estructuró en tres etapas clave basadas en el modelo de nube de puntos obtenido mediante fotogrametría en MATLAB. La integración de datos de escaneo 3D en software CAD paramétrico permite el traslado eficiente desde la anatomía digital hasta el diseño personalizado, en el Capítulo 5 de (Gibson et al., 2015), se describen procesos de conversión de datos escaneados a modelos CAD paramétricos, aplicable al pipeline.

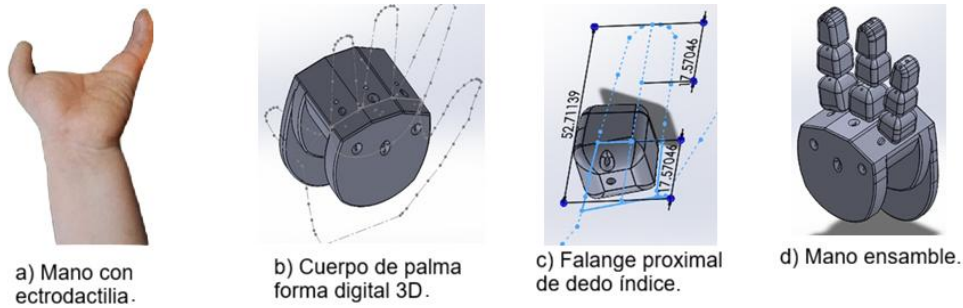
1. Escalado Dimensional: El archivo .OBJ se importó como referencia y se escaló automáticamente utilizando como cota principal la medida real de la muñeca del usuario (48.5 mm), asegurando precisión anatómica.
2. Diseño Paramétrico de Componentes:
  - Plantilla de interfaz: Se generó un cuerpo sólido de 2 mm de espesor que cubre la palma y dedos existentes.
  - Estructura protésica: Se modelaron falanges proximales y medias con orificios de anclaje (1.2 mm) para tendones artificiales y muñones articulares de 2 mm figura 2 c).
  - Canales internos: En la palma se crearon túneles diagonales de 1.5 mm para guiar los tendones desde el servomotor hasta las falanges.
3. Validación por Ensamble Virtual: Todas las piezas se ensamblaron digitalmente con relaciones de coincidencia y concetricidad. La validación dimensional final con la plantilla impresa en PLA mostrando desviaciones menores a 0.5 mm Figura 2 d).

Este flujo metodológico establece una cadena de procesos digital eficiente que conecta la captura anatómica con el diseño funcional, garantizando personalización milimétrica y replicabilidad en el desarrollo de prótesis.

*Adquisición y Procesamiento de Señales EMG:* Para capturar las señales mioeléctricas de baja amplitud, se diseñó una cadena de acondicionamiento analógico. Esto incluyó una etapa de amplificación de instrumentación crítica para señales del orden de microvoltios, seguida de filtros activos pasa-banda (20–450 Hz) para aislar el espectro EMG relevante y rechazar ruido tanto de línea como de movimiento, lo cual constituye una práctica estándar en el diseño de interfaces miocontroladas (Clancy, Morin, & Merletti, 2002). Es crucial evitar la activación automática e inadvertida del servomotor cuando el músculo se encuentra inactivo. De esta forma, se previenen interferencias con el propósito principal del sistema, que es el control preciso de la activación y desactivación del servomotor en respuesta a la acción deseada de los dedos. Para analizar los datos generados por el sistema, se utilizan el monitor serial y el plotter serial disponibles en el entorno de desarrollo. Se dispuso de herramientas integradas de visualización en tiempo real que facilitan el monitoreo y calibración del sistema.

**Figura 4**

*Modelado de la prótesis en 3D*



El sistema de control de la prótesis integra una plataforma de desarrollo de código abierto con un circuito de acondicionamiento analógico personalizado y un sistema de registro de datos. Este conjunto permite desde la captura fiable de la señal biológica hasta la visualización en tiempo real y el almacenamiento para análisis.

Para el desarrollo de tanto el circuito de acondicionamiento Pasa-Banda y la tarjeta EMG, previas a la digitalización, las señales débiles electromiográficas (EMG) se procesan mediante un circuito analógico de cuatro etapas diseñado específicamente para aplicaciones con baja amplitud de señal ( $< 500 \mu\text{V}$ ), como es común en usuarios pediátricos. En la Figura 4 se implementa en una tarjeta de circuito impreso (PCB) diseñada en Altium Designer, la cadena de acondicionamiento consiste en:

Etapas 1: Buffer de Alta Impedancia: Un seguidor de voltaje con amplificador operacional MCP6002 evita la carga de la fuente.

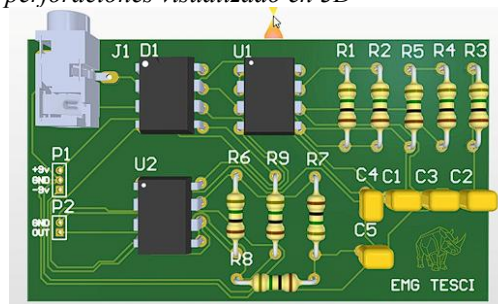
Etapas 2: Filtro Pasa-Bajas ( $f_c \approx 500 \text{ Hz}$ ): Un filtro activo atenúa el ruido de alta frecuencia e interferencias.

Etapas 3: Buffer Intermedio: Aísla las etapas de filtrado.

Etapas 4: Filtro Pasa-Altas ( $f_c \approx 20 \text{ Hz}$ ): Elimina señales falsas o interferencias.

**Figura 5**

*Circuito electromiográfico esquemático de perforaciones visualizado en 3D*



Esta configuración constituye un filtro pasa-banda efectivo (20–500 Hz) que optimiza la relación señal-ruido. La tarjeta PCB resultante, fabricada con componentes de montaje superficial, ofrece un rendimiento aceptable en la captura de señales de baja amplitud en comparación con módulos comerciales, siendo integrada directamente en la arquitectura de la prótesis.

La señal acondicionada se digitaliza mediante el convertor analógico-digital (ADC) de 10 bits de un microcontrolador Arduino, programado en el entorno Arduino IDE. Este entorno proporciona herramientas integradas de visualización en tiempo real que facilitan el monitoreo y calibración del sistema. Estas herramientas permiten observar dos parámetros fundamentales:

- Intensidad de la señal electromiográfica (EMG): Representada en un rango digital de 0 a 1023 por el ADC. Este valor refleja la amplitud de la señal muscular ya filtrada y amplificada.
- Posición angular del servomotor: Un valor discreto que indica el ángulo instantáneo del actuador ( $0^\circ$  a  $180^\circ$ ), permitiendo verificar su activación y movimiento sincronizado con la señal EMG.

El Serial Plotter de Arduino genera un gráfico temporal que superpone estas variables. Esta representación visual permite evaluar rápidamente la calidad de la señal, identificar el umbral de activación muscular y verificar la respuesta del servomotor. En la configuración utilizada, el gráfico presenta tres trazos:

- Línea base (0): Representa la referencia de reposo del sistema.
- Señal EMG (1): Muestra la señal miográfica procesada, donde los picos indican contracción muscular.
- Ángulo del servo (2): Ilustra la posición angular del actuador, confirmando que se activa solo ante una contracción válida.

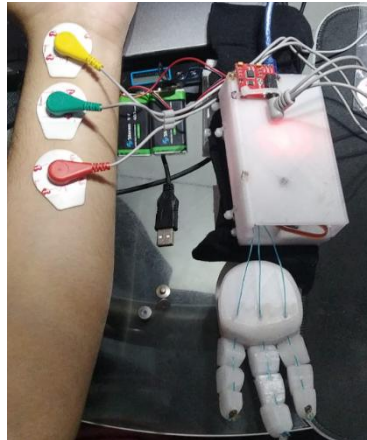
Esta visualización integrada es crucial para establecer una correlación clara entre la intención del usuario (contracción muscular) y la respuesta de la prótesis (movimiento), optimizando así el proceso de calibración. Para un análisis cuantitativo y registro permanente, los datos se exportan a una hoja de cálculo de Microsoft Excel mediante el complemento PLX-DAQ (Parallax Inc.). Este software establece una comunicación serial bidireccional entre Arduino y Excel. Los datos se estructuran en cuatro columnas predefinidas en el código de Arduino:

- Tiempo transcurrido (s)
- Valor EMG (0-1023)
- Ángulo del servomotor ( $0^\circ$ - $180^\circ$ )
- Marca temporal (formato HH:MM:SS)

El complemento permite configurar la velocidad de comunicación (baud rate, típicamente 9600 baudios) y realizar operaciones de gestión de datos como inicio/pausa de la captura, limpieza de la hoja y exportación de los registros. Esta integración permite una adquisición sistemática de datos para su posterior análisis estadístico, validación del rendimiento y ajuste fino de los parámetros de control, cerrando así el ciclo de desarrollo desde la captura de la señal hasta la validación funcional del sistema protésico. En la Figura 5 se muestra el sistema funcional completo.

**Figura 6**

*Sistema de prótesis mioeléctrica.*



*Carcasa:* La fabricación aditiva con materiales como el PETG fue seleccionada por su capacidad para producir geometrías complejas, personalizadas y ligeras. Estudios recientes demuestran que el PETG ofrece un equilibrio favorable entre resistencia, durabilidad y biocompatibilidad superficial para prótesis que contactan con la piel (Tümer & Erbil, 2021). El diseño incorporó principios de mecánica de agarre palmar, con análisis de tensión para garantizar la integridad estructural. El mecanismo de agarre se implementó mediante un sistema de tendones artificiales que simula la biomecánica de los tendones flexores humanos. Se utilizó hilo de nailon de alta resistencia (diámetro: 0.5 mm) como elemento de transmisión, seleccionados por su bajo coeficiente de fricción contra el PETG, su alta resistencia a la tracción (~80 MPa), flexibilidad para recorrer canales curvos y resistencia a la fatiga por flexión.

Los tendones de nailon recorren canales internos de 1.2 mm de diámetro impresos directamente en las falanges y la palma protésica de PETG. En la base de cada falange distal, el nailon se fija mediante un nudo de bloqueo encapsulado en un reservorio impreso como en la Figura 6. En el extremo proximal, los tres tendones convergen y se enrollan en una polea de PETG acoplada al eje de un servomotor MG995.

**Figura 7**

*Esqueleto de la prótesis elaborado en PETG.*



*Subsistema de Control y Energía:* La lógica de control se basó en un algoritmo de detección de umbral implementado en el microcontrolador, que activa un actuador (servomotor) ante una contracción muscular supervisada. Este esquema de control ON/OFF, aunque sencillo, ha demostrado ser robusto y efectivo para tareas de agarre básico en prótesis transradiales (Muzumdar, 2004). La energía es suministrada por baterías recargables de polímero de litio, priorizando la seguridad y la autonomía en un paquete compacto.

La integración de estos subsistemas en un prototipo cohesivo demuestra la viabilidad del diseño centrado en las particularidades del usuario, que combina herramientas de bajo costo, componentes disponibles comercialmente y metodologías de personalización digital para abordar necesidades de rehabilitación específicas y desatendidas como en la Figura 7.

**Figura 8**

*Prótesis colocada en el usuario.*

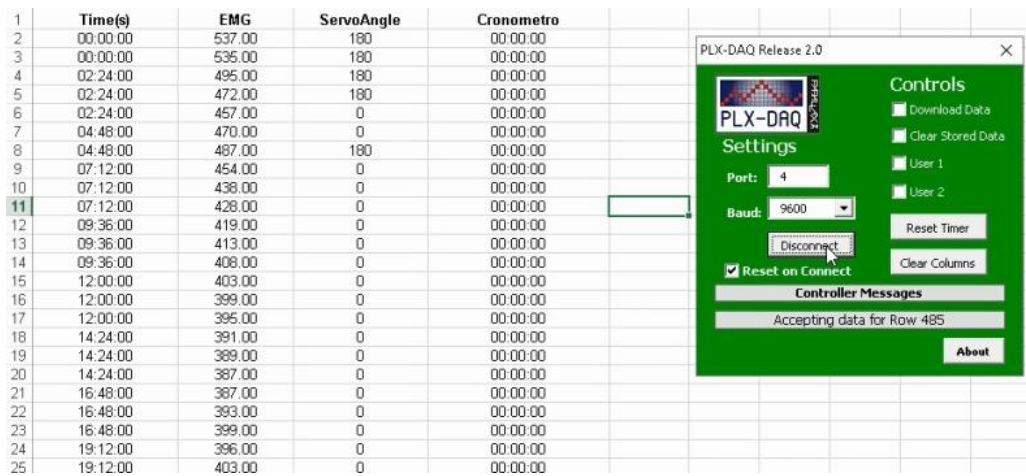


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se implementó un sistema integrado de adquisición y visualización de señales EMG utilizando Arduino, PLX-DAQ (Excel) y MATLAB, permitiendo la captura, almacenamiento y análisis en tiempo real de señales mioeléctricas del antebrazo. Los valores digitalizados del ADC mostraron un rango entre 300–600 unidades, estableciéndose un umbral de activación muscular de 470 unidades para el control del servomotor ( $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$ ) en la Figura 8 se muestran explícitamente los valores obtenidos. Se incorporó un mecanismo de histéresis digital para evitar activaciones falsas, mejorando la robustez del sistema.

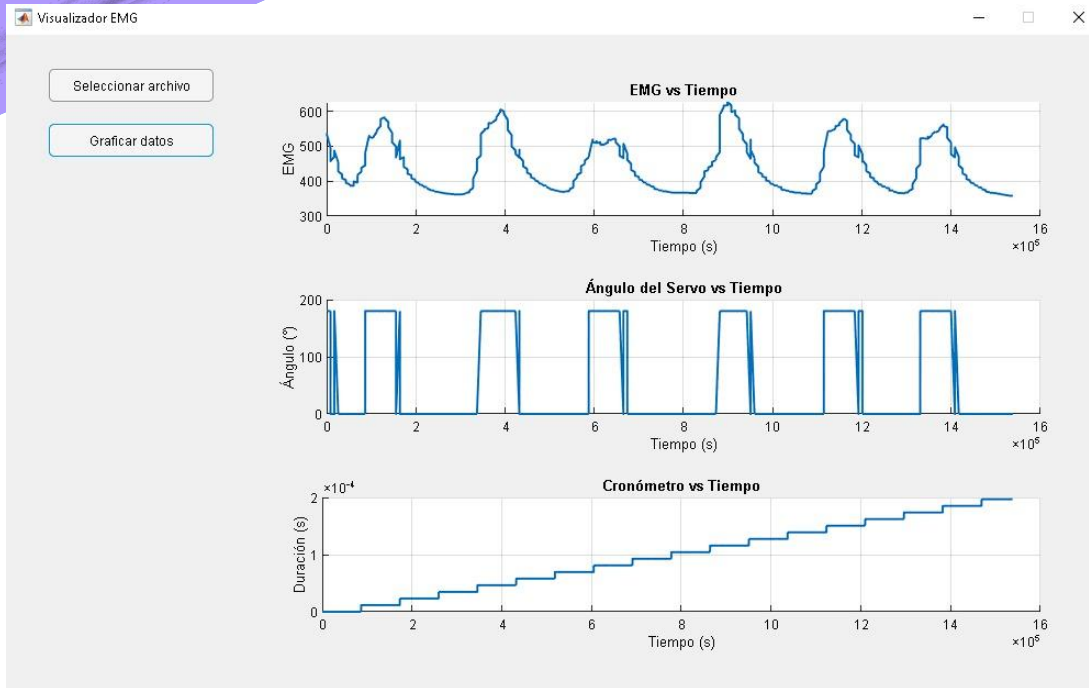
**Figura 9**

*Activación por encima de las 470 unidades EMG.*



La interfaz en MATLAB permitió la visualización sincronizada de la señal EMG Figura 9, el ángulo del servo y la duración de los eventos de activación, facilitando la calibración y validación del sistema. Los tiempos de respuesta promedio fueron de  $< 100$  ms, adecuados para aplicaciones protésicas básicas.

**Figura 10** Obtención de valores EMG en demostración con grafica visual.



Adicionalmente, se desarrolló el diseño de una tarjeta EMG de bajo costo (Figura 4) orientada a señales de baja amplitud ( $<500 \mu\text{V}$ ), con etapas de filtrado pasa-banda (20–500 Hz) y amplificación programable, pensada para usuarios pediátricos o con atrofia muscular. Los resultados confirman la viabilidad de un sistema mioeléctrico accesible, aunque se identifican limitaciones en la resolución del ADC y el control por umbral. Se proponen mejoras futuras como el uso de ADC de mayor resolución, algoritmos de IA (Inteligencia Artificial) para clasificación de señales, y validación clínica con población con ectrodactilia y TEA.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio logró diseñar y desarrollar un prototipo funcional de prótesis mioeléctrica personalizada, orientado a un caso pediátrico con ectrodactilia y trastorno del espectro autista (TEA), empleando tecnologías de bajo costo. Se cumplió el objetivo de integrar fotogrametría digital para el modelado anatómico, fabricación aditiva con PETG, y un sistema de control basado en señales EMG procesadas mediante un circuito analógico personalizado y un microcontrolador Arduino. El sistema demostró tiempos de respuesta inferiores a 100 ms y una activación confiable mediante un algoritmo de umbral con histéresis, validando su viabilidad técnica y potencial como alternativa accesible y replicable.

El trabajo sentó una base metodológica sólida y demostró la factibilidad de un enfoque personalizado que considera tanto las restricciones anatómicas como las necesidades sensoriales específicas en usuarios con TEA.

Como trabajo a furo se plantea:

- La implementación de tendones artificiales basados en nitinol, un material con memoria de forma que permitirá movimientos más naturales, eficientes y silenciosos.
- La utilización de un recubrimiento de grado médico para todos los componentes en contacto con la piel, mejorando la biocompatibilidad, confort y seguridad para el usuario a largo plazo.

La integración de un sistema de control más avanzado, posiblemente mediante algoritmos de inteligencia artificial, para lograr un control más intuitivo y proporcional.

Este proyecto sienta las bases para el desarrollo de soluciones protésicas más sofisticadas, accesibles y centradas en el usuario. La evolución hacia el uso de materiales como el nitinol y recubrimientos de grado médico representa un paso fundamental para cerrar la brecha entre prototipos de bajo costo y dispositivos listos para su adopción clínica, especialmente en poblaciones pediátricas con necesidades complejas como la ectrodactilia asociada al TEA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Biddiss, E. A., & Chau, T. T. (2007). Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years. *Prosthetics and Orthotics International*, 31(3), 236–257.
- Bouwsema, H., van der Sluis, C. K., & Bongers, R. M. (2014). The role of sensory feedback in hand prosthesis use: A systematic review. *Prosthetics and Orthotics International*, 38(5), 349–357.
- Chandler, J.H., 1999. Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 51–63.
- Chen, C. W., & Zebker, H. A. (2001). Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization. *Journal of the Optical Society of America A*, 18(2), 338–351. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.18.000338>
- Clancy, E. A., Morin, E. L., & Merletti, R. (2002). Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12(1), 1–16.
- Farina, D., Merletti, R., & Enoka, R. M. (2014). *The extraction of neural strategies from the surface EMG*. *Journal of Applied Physiology*, 117(11), 1215–1230. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00162.2014>
- Farrell, T. R., & Weir, R. F. (2007). The optimal controller delay for myoelectric prostheses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(1), 111–118. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2007.891391>.
- Fraser, C.S., Cronk, S., 2009. A hybrid measurement approach for close-range photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64, 328–333.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2nd ed.). Springer.
- Ismail, F. A., Shukor, S. A. A., Rahim, N. A., & Wong, R. (2023). Surface reconstruction from unstructured point cloud data for building digital twin. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(10). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0141075>
- López, F., Diego, I., & Fernández, J. (2019). Low-cost photogrammetry for 3D modeling of mechanical components in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(6), 1504–1518.
- Matthews, N.A., 2008. Aerial and close-range photogrammetric technology: providing resource documentation, interpretation, and preservation. Technical Note, 428. Bureau of Land Management, Denver, Colorado.
- Muzumdar, A. (Ed.). (2004). *Powered upper limb prostheses: Control, implementation and clinical application*. Springer.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Normas ortoprotésicas*, Parte I. Ginebra: OMS.
- Remondino, F., El-Hakim, S., 2006. Image-based 3-D modelling: a review. *The Photogrammetric Record* 21, 269–291.
- Schipper, J. A. M., Merema, B. J., Hollander, M. H. J., Spijkervet, F. K. L., Dijkstra, P. U., Jansma, J., Schepers, R. H., & Kraeima, J. (2024). Reliability and validity of handheld structured light scanners and a static stereophotogrammetry system in facial three-dimensional surface imaging. *Scientific Reports*, 14(1), 8172. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57370-x>
- Sun, B., Chen, W., & Zheng, X. (2012). The system design for the extraction and pre-processing of surface EMG. *Physics Procedia*, 33, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.023>
- Tam, S., Boukadoum, M., Campeau-Lecours, A., & Gosselin, B. (2021). Intuitive real-time control strategy for high-density myoelectric hand prosthesis using deep and transfer learning. *Scientific Reports*, 11(1), 11275. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90688-4>
- Tümer, E. H., & Erbil, H. Y. (2021). Extrusion-based 3D printing applications of PLA composites: A review. *Coatings*, 11(4), 390.
- Lane, S.N., James, T.D., Crowell, M.D., 2000. Application of digital photogrammetry to complex topography for geomorphological research. *The Photogrammetric Record*
- López, F., Diego, I., & Fernández, J. (2019). Low-cost photogrammetry for 3D modeling of mechanical components in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(6), 1504–1518.
- Mohebbian, M. R., Nosouhi, M., Fazilati, F., Nasr Esfahani, Z., Amiri, G., Malekifar, N., Yusefi, F., Rastegari, M., & Marateb, H. R. (2021). A comprehensive review of myoelectric prosthesis control. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.13192>.
- Muzumdar, A. (Ed.). (2004). *Powered Upper Limb Prostheses: Control, Implementation and Clinical Application*. Springer.
- Tümer, E. H., & Erbil, H. Y. (2021). Extrusion-based 3D printing applications of PLA composites: A review. *Coatings*, 11(4), 390.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.
- Zhang, S. (2018). High-speed 3D shape measurement with structured light methods: A review. *Optics and Lasers in Engineering*, 106, 119–131.
- Zhou, L., Miller, J., Vezza, J., Mayster, M., Raffay, M., Justice, Q., Al Tamimi, Z., Hansotte, G., Sunkara, L. D., & Bernat, J. (2024). *Additive Manufacturing: A Comprehensive Review*. *Sensors*, 24(9), 2668. <https://doi.org/10.3390/s24092668>.

# ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LAS ÁREAS FUNCIONALES DEL SECTOR VINÍCOLA

10.60968/IAET.3594-035X.946

Omar Alejandro Gerardo Hernández<sup>1</sup>, Evangelina García Sandoval<sup>2</sup>,  
Ana Patricia Hernández Gutiérrez<sup>3</sup>, Héctor Omar Aguilar Mendoza<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Norte de [Guanajuato/omar.gerardo@utng.edu.mx](mailto:Guanajuato/omar.gerardo@utng.edu.mx)

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Norte de [Guanajuato/evangelinagarcia@utng.edu.mx](mailto:Guanajuato/evangelinagarcia@utng.edu.mx)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica del Norte de [Guanajuato/anapatriciahernandez@utng.edu.mx](mailto:Guanajuato/anapatriciahernandez@utng.edu.mx)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica dl Norte de [Guanajuato/hector.aguilar@utng.edu.mx](mailto:Guanajuato/hector.aguilar@utng.edu.mx)

## Línea de investigación:

Difusión/Publicación Científica. Diagnóstico económico regional.

## Resumen

La competitividad en el sector vinícola se ha vuelto un desafío crucial debido a diversas variables que influyen en el desempeño de las empresas, mismas que se han enfrentado a diversas dificultades para mantener y mejorar su posición competitiva debido a la falta de gestión de recursos, a la medición de indicadores de las diferentes áreas en el sector económico y productivo ya que en la actualidad se perfilan para obtener la mayor parte de clientes para seguir compitiendo en el mercado y lograr la satisfacción del mismo para subsistir. Por lo que las áreas funcionales se preocupan por analizar y contar con recursos que brinden las características necesarias para poder realizar lo pertinente y alcanzar la mejora continua en la calidad de los procesos correspondientes.

La investigación permitirá realizar un análisis de competitividad del sector vinícola en Dolores Hidalgo permitiendo crear propuestas de mejora para fortalecer el potencial de las empresas como parte del desarrollo económico y cultural de la región. Sin embargo, durante la fase crítica de aplicación de encuestas, se encontró una barrera significativa: la **baja tasa de respuesta por parte de las empresas contactadas**, por lo que la recolección de datos obstaculizo un poco para un análisis representativo.

*Palabras clave: Áreas funcionales, Competitividad, Gestión de recursos, Sector vinícola.*

## Abstract

Competitiveness in the wine sector has become a crucial challenge due to various variables that influence company performance. These companies have faced numerous difficulties in maintaining and improving their competitive position due to a lack of resource management and the measurement of indicators across different areas of the economic and productive sector. Currently, they are striving to acquire the majority of clients to remain competitive in the market and achieve customer satisfaction in order to survive. Therefore, functional areas are concerned with analyzing and securing resources that provide the necessary characteristics to perform the required tasks and achieve continuous improvement in the quality of their processes.

This research will allow for a competitiveness analysis of the wine sector in Dolores Hidalgo, enabling the creation of improvement proposals to strengthen the potential of companies as part of the region's economic and cultural development. However, during the critical phase of survey application, a significant barrier was encountered: the low response rate from the contacted companies. This somewhat hindered data collection for a representative analysis.

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nacional, Guanajuato, no sólo es un sitio de profundo significado histórico para México, sino que también ostenta un papel central en el resurgimiento y desarrollo de la industria vitivinícola en la entidad. Su conexión con la vid se remonta a la época colonial, cuando el cura Miguel Hidalgo y Costilla impulsó activamente el cultivo de uvas y la producción de vino en la región, sentando un precedente histórico que, aunque interrumpido, hoy sirve de ancla cultural y de identidad para el sector.

El renacimiento de la actividad vitivinícola en Dolores Hidalgo a partir de la década de 1990 ha sido notable, con el establecimiento de vinícolas pioneras que han liderado la recuperación local. Este resurgimiento ha sido impulsado por:

- **Atracción Enoturística:** Dolores Hidalgo se ha consolidado como uno de los principales puntos de interés dentro de la "Ruta del Vino" de Guanajuato, atrayendo a un creciente número de visitantes interesados en experiencias que combinan cultura, gastronomía y enología. La presencia de importantes vinícolas y el Museo del Vino son pilares de esta oferta.
- **Inversión y Consolidación:** La inversión en infraestructura, como bodegas modernas y centros de vinificación, y el continuo esfuerzo por mejorar la calidad de los viñedos, demuestran un compromiso sostenido con el desarrollo del sector.
- **Dolores Hidalgo juega un papel crucial en la oferta turística del estado, siendo un eje central del enoturismo en la región, ya que "La Ruta del Vino de Guanajuato, que incluye puntos clave en San Miguel de Allende y Dolores Hidalgo, se ha consolidado como un atractivo turístico de primer nivel, lo que impulsa el enoturismo y la demanda de vinos locales" (Journal of Tourism and Heritage Research, 2022).**

La particularidad de Dolores Hidalgo, al conjugar su vasta herencia cultural con una emergente y pujante industria vitivinícola, crea un entorno competitivo único. Las empresas aquí no solo compiten en términos de calidad de producto, sino también en la capacidad de integrar su oferta enoturística y narrativa histórica, elementos que pueden potenciar o limitar su competitividad en el mercado.

La percepción de valor por parte del consumidor es un factor clave en la competitividad. En este sentido, estudios recientes confirman que "Los resultados obtenidos indican que existe una disposición a pagar de los consumidores por el vino producido en Guanajuato debido a sus características agroclimáticas que le confieren un valor diferenciado" (Rodríguez-Rivera et al., 2024). Cabe destacar que este estudio incluyó encuestas realizadas en el municipio de Dolores Hidalgo, lo que valida esta percepción para los vinos de la región.

Bajo ese contexto como equipo de investigación pretendemos evaluar la competitividad de los viñedos en sus principales áreas funcionales (Administración, Producción, Infraestructura, Tecnología, compras, abastecimiento, almacén Marketing, Ventas, Logística, y Finanzas), con el fin de obtener información que sirva para generar un Ranking de Competitividad de las empresas vitivinícolas del municipio.

## DESARROLLO

Estudiar la competitividad de las empresas vinícolas en Guanajuato es esencial para comprender qué factores están impulsando su crecimiento, qué desafíos enfrentan y cómo se están posicionando frente a otras regiones vinícolas del país, como Baja California o Querétaro. A través de este análisis, se pueden identificar buenas prácticas, estrategias de diferenciación, innovación tecnológica, y políticas públicas que favorecen o limitan su desarrollo.

Además, este estudio busca analizar el impacto que estas empresas tienen en su entorno, considerando aspectos económicos (como generación de empleo e inversión), sociales (como el arraigo comunitario y el desarrollo rural), y ambientales (por el uso responsable de los recursos naturales y prácticas sostenibles). Así, se podrá evaluar si el crecimiento del sector vinícola está contribuyendo de manera equilibrada y sustentable al bienestar del estado.

Esta investigación tiene una doble relevancia: Contribuye al conocimiento académico y empresarial sobre la competitividad en sectores agroindustriales emergentes; ofrece insumos valiosos para la toma de decisiones de actores públicos y privados que deseen impulsar de manera estratégica el desarrollo del sector vinícola en Guanajuato.

El estado de Guanajuato ha experimentado en los últimos años un crecimiento significativo en el sector vinícola, consolidándose como una región emergente en la producción de vinos de calidad en México. Este auge no solo representa una oportunidad económica para los empresarios del sector, sino que también tiene implicaciones directas en el desarrollo regional, el turismo, el empleo, y la proyección cultural del estado a nivel nacional e internacional.

Para llevar a cabo este proyecto se cuenta con los tiempos y autorizaciones necesarias por parte del centro de trabajo UTNG como el interés por parte de las vinícolas del entorno. De igual forma beneficiara a los alumnos egresados de la universidad a la visión del contar con más opciones en el campo laboral una vez terminando su carrera donde podrán poner en práctica sus conocimientos y desarrollar sus competencias.

Para el equipo de investigación es una satisfacción el poder contribuir con un aporte al sector empresarial como para la institución donde es motivante cada avance que se va generando del proceso de investigación desarrollado por los beneficios al sector que este genera.

## *OBJETIVOS*

### *GENERAL*

Identificar y analizar las áreas críticas que afectan la competitividad de las empresas del sector vinícola, proponiendo estrategias que permitan mejorar su posición en el mercado y asegurar su sostenibilidad.

#### **Específicos**

- Crear el instrumento para obtener un diagnóstico de las áreas de la empresa.
- Aplicar un cuestionario para la medición de la competitividad de las áreas funcionales de la empresa.
- Realizar un análisis de la eficiencia en la gestión de recursos (materiales, humanos y financieros) para detectar ineficiencias y áreas de mejora.
- Identificar oportunidades para la innovación en procesos administrativos tales como una capacitación.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

Sector vinícola de la región de Dolores Hidalgo

Dolores Hidalgo, Guanajuato, es reconocido no sólo por su importancia histórica y cultural, sino también por su creciente producción vitivinícola. En los últimos años, la región ha experimentado un auge en la industria del vino, con la aparición de nuevas bodegas y el fortalecimiento de marcas locales. Sin embargo, a pesar de este crecimiento, las empresas vinícolas de la zona enfrentan desafíos que limitan su competitividad frente a otras regiones vitivinícolas consolidadas en México, como Baja California, Querétaro y Coahuila.

Aunque Dolores Hidalgo cuenta con condiciones climáticas y geográficas favorables para la vitivinicultura, las empresas de la región presentan dificultades en aspectos como:

1. Acceso a mercados: Limitada comercialización más allá del turismo local.
2. Tecnología y procesos: Falta de innovación en producción y envejecimiento.
3. Competencia: Dificultad para posicionarse frente a vinos de otras regiones con mayor tradición.
4. Regulación y apoyo institucional: Inexistencia de políticas claras de fomento al sector.
5. Cadena de valor: Desarticulación entre productores, proveedores y distribuidores.

Estos factores podrían estar afectando su capacidad para competir a nivel nacional e internacional, limitando su potencial económico y su contribución al desarrollo regional.

Si estas problemáticas no se abordan, las empresas vinícolas de Dolores Hidalgo podrían:

- Quedar rezagadas frente a regiones mejor organizadas y con mayor inversión.
- Perder oportunidades de crecimiento en mercados nacionales e internacionales.
- Dependrer únicamente del turismo local, lo que las hace vulnerables a fluctuaciones económicas y crisis (ej. pandemias, recesiones).
- Limitar el desarrollo económico de la región, ya que la vitivinicultura tiene potencial para generar empleos, atraer inversión y diversificar la economía.

## *METODOLOGÍA*

Por el tipo de investigación realizado se llevó un enfoque eminentemente cualitativo debido a la naturaleza de esta, pues permite optar por recabar información de corte causal y con detalles cuantificables, se trabajó un diseño descriptivo donde se detalla la situación del contexto orientado a comprender la cadena de suministro llevado a cabo para el seguimiento de la investigación en las prácticas de sostenibilidad y la competitividad de bodegas y viñedos en la región de estudio. La población y muestra trabajada fue de tres empresas vinícolas con las cuales se obtuvieron resultados pertinentes para el desarrollo de la misma, se trabajó un cuestionario online como instrumento de recabación de información y con este se obtuvieron ciertos resultados, los cuales se emplearan para la realización, planeación y ejecución de una capacitación prevista para la segunda etapa de esta investigación con la que se pretende se contribuya en la mejora de los procesos de sus áreas funcionales y beneficie al sector investigado.

## *FASES DEL DESARROLLO*

### *Fase 1: Diagnóstico e investigación*

- Base de datos cruda (encuesta, transcripciones, fuentes secundarias).
- Informe preliminar con:
  - o Perfil de las empresas participantes.
  - o Tendencias iniciales en competitividad y productividad, y aplicación de conocimiento.

### *Fase 2: Análisis*

- Evaluación de brechas entre el conocimiento académico y su aplicación práctica.
- Priorización de necesidades de capacitación y mejora.

### *Fase 3: Desarrollo de Productos (segunda etapa de la investigación)*

- Elaboración del plan de capacitación (módulos teórico-prácticos).
- Propuesta de vinculación empresarial (convenios para estadías y proyectos).
- Informe final con hallazgos y recomendaciones.

### *Fase 4: Implementación y Validación (segunda etapa de la investigación)*

- Piloto del plan de capacitación.
- Presentación de resultados con instituciones y cámaras empresariales.

## *RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

En el desarrollo de la presente investigación se vieron los desafíos estructurales y las oportunidades estratégicas del sector vitivinícola y enoturístico de Dolores Hidalgo, Guanajuato, con un enfoque particular en la articulación de la Ruta del Vino. El estudio se basó en el análisis de una entrevista en profundidad realizada a la **Lic. Cynthia Ducoing**, Directora del Museo del Vino de Guanajuato y representante clave de la Asociación de Vitivinicultores.

Los hallazgos cuantitativos y cualitativos derivados del diagnóstico revelan un sector con un potencial de crecimiento significativo, sustentado en condiciones climáticas ideales, un proyecto de Indicación Geográfica Protegida (IGP) en desarrollo y una ubicación turística privilegiada. Sin embargo, se identificaron debilidades críticas que limitan su consolidación, entre las que destacan: una marcada fragmentación interinstitucional, la ausencia de una estrategia unificada de marketing y comercialización digital, la falta de una bodega "ancla" que establezca la cadena de suministro, y un déficit generalizado de capacitación y profesionalización en los ámbitos técnico-productivo, de gestión empresarial y de servicios turísticos.

El estudio concluye que, si bien existen iniciativas prometedoras para la creación de una plataforma digital y la articulación de un clúster enoturístico, la superación de los desafíos identificados requiere la implementación de un modelo de gobernanza colaborativa y soluciones sistémicas que fomenten la integración de la cadena de valor, el desarrollo de capital humano especializado y la construcción de una marca de destino sólida y coherente.

## Hallazgos Principales (Oportunidades y Fortalezas)

- **Crecimiento Sostenido:** La asociación pasó de 12 productores en 2014 a un número significativamente mayor en 2025, con expansión a municipios como San Luis de la Paz.
- **Proyecto Estratégico: Indicación Geográfica (IG):** Meta prioritaria para establecer la IGP "Vino de Guanajuato", garantizando que el vino se elabore con uva 100% local, lo que añadirá trazabilidad, calidad e identidad.
- **Condiciones Climáticas Ideales:** Las noches frías y los días cálidos de Dolores Hidalgo generan el "estrés" necesario en la uva, resultando en vinos de alta calidad. Esto atrae inversores de otros estados.
- **Potencial Turístico Excepcional:**
  - Dolores Hidalgo tiene una vocación turística consolidada.
  - Proximidad a San Miguel de Allende, un "imán" turístico internacional.
  - Obras de infraestructura, como el nuevo bulevar, se prevé que impulsen significativamente la afluencia de visitantes.
  - Se valora la "personalización" y el trato cercano en las experiencias enológicas, a diferencia de otros destinos más masificados.
- **Oportunidad de Exportación:** Algunas bodegas con mayor capacidad ya están exportando a Estados Unidos y se explora el mercado japonés.

## Desafíos y Debilidades Críticas

- **Falta de Capacitación y Profesionalización:**
  - **Campo y Bodega:** Escasez de enólogos y técnicos especializados. Muchos productores son autodidactas.
  - **Servicio y Experiencia Turística:** Necesidad urgente de capacitación en servicio al cliente y creación de experiencias diferenciadas y memorables para el visitante.
- **Falta de una Bodega "Ancla":** A diferencia de Querétaro (con Freixenet), Guanajuato carece de una bodega grande que actúe como motor de la cadena de suministro, comprando uva a pequeños productores y maquilando para ellos.
- **Problemas de Comercialización y Digitalización:**
  - **Comercialización:** Productores con viñedo pero sin bodega no saben qué hacer con su uva. Falta un canal de comunicación eficiente entre ellos.
  - **Digitalización:** Marketing digital débil. Falta de plataformas centralizadas de reservas y ventas en línea. Dificultades logísticas (alto costo de envíos).
- **Falta de Planeación Estratégica:** Muchos proyectos son familiares y nacen por "pasión" sin una planeación de negocio clara (modelo, inversión, mercado objetivo).
- **Infraestructura Turística Limitada:** El visitante potencial no encuentra una oferta integral que lo retenga por más de 4 horas. Falta de hoteles, restaurantes y experiencias complementarias.
- **Baja Cultura Vitivinícola Local:** Persiste la percepción del vino como una bebida elitista y se consume principalmente en festividades, no de forma habitual.
- **Rotación de Personal y Fuga de Talento:** Dificultad para retener capital humano especializado, dependiendo en muchos casos de enólogos extranjeros.

## Hallazgos Principales: Iniciativas en Marcha y Oportunidades

### a) Desarrollo de una Plataforma Digital Integral:

- Se está trabajando con un despacho externo (Andrés López) para crear una plataforma funcional que centralice las **reservas y la información** de la Ruta del Vino.
- El objetivo es superar la mera información y convertirse en una herramienta de **venta y gestión de experiencias**.

### b) Esfuerzo de Articulación y Creación de Redes:

- Se identifica la necesidad de capacitar al **personal operativo** (recepcionistas, guías), no solo a los dueños, para que sean representantes efectivos de la ruta.

### c) Buscando una Experiencia de Destino Unificada:

- Existe una clara intención de **articular el vino con otros atractivos** de Dolores Hidalgo, como la artesanía (ejemplo: talleres de cerámica) y la herencia cultural de José Alfredo Jiménez (con una etiqueta conmemorativa de vino ya creada).
- Se plantea la logística de un **transporte o camioneta** que parta desde el Museo del Vino hacia las distintas bodegas, solucionando un problema clave de conectividad para el turista.

### d) Expansión de la Marca "Museo del Vino":

- Se contempla la posibilidad de **renombrar el museo** a "Experiencia del Vino" para reflejar mejor su rol dinámico.
- Se ha creado una extensión o "embajada del vino" en Guanajuato Capital, demostrando una estrategia de expansión de la marca regional.

- Información invaluable para ajustar estrategias de marketing y desarrollo de productos.
- **Potencial Evolución a Marketplace:** Es el primer paso hacia un futuro **marketplace de e-commerce** unificado, donde no solo se reserven visitas, sino que se vendan vinos, merchandising y experiencias premium de forma directa, solucionando a largo plazo el problema de comercialización.

### Desafíos y Debilidades Críticas Identificadas

#### a) Herencia de Proyectos Fallidos y Descoordinación:

- Existe una **frustración palpable por proyectos pasados** financiados por el gobierno que no dieron resultados tangibles (ejemplo: un portal web anterior que no funciona). Esto ha generado desconfianza y la necesidad de "rescatar" el trabajo previo.
- Hay una **fragmentación histórica** en el sector, mencionándose una asociación civil paralela que entró en "pleito" con la de vitivinicultores, dispersando esfuerzos y recursos.

#### b) Falta de una Estrategia de Marketing y Comunicación Unificada:

- Se critica la falta de un **portal web único y funcional** que sirva como punto de contacto oficial para el turista. Actualmente, la información está dispersa en redes sociales.
- La Lic. Ducoing enfatiza: **"toda la estrategia de mercadotecnia es una falta"**. No hay una narrativa coherente que guíe al visitante sobre qué esperar y cómo vivir la experiencia.
- La comunicación local es débil. Existe la necesidad de **promocionarse dentro de la misma comunidad de Dolores Hidalgo** mediante descuentos para locales, talleres y eventos, para fomentar el consumo interno y el orgullo local.

#### c) Dificultad para Estructurar una Oferta Turística Coherente:

- Se evidencia un **debate interno sobre cómo estructurar la ruta**. No está claro si debe ser una experiencia concentrada en un solo lugar o una ruta geográfica dispersa, y cómo hacerla suficientemente atractiva para retener al turista por más de un día.
- La pregunta central sin resolver es: **¿por qué un turista debería visitar una bodega sobre otra?** Falta definir y comunicar experiencias diferenciadas y únicas para cada bodega.

#### d) Dependencia de Recursos y Fatiga de Gestión:

- La asociación depende de una combinación de **cuotas de sus socios y recursos gestionados del gobierno**. Esta dependencia hace que los proyectos sean vulnerables a los cambios administrativos.
- Se menciona un **posible desánimo o "querer tirar la toalla"** por parte de algunos socios, considerando incluso abrir un punto de venta independiente en San Miguel de Allende, lo que refleja la frustración por la lenta consolidación del proyecto en Dolores.
- **Sobresaturación de Bodegas Similares:** Si todas ofrecen lo mismo (visita al viñedo, cata estándar), se genera una competencia interna destructiva.

## CONCLUSIÓN

La investigación basada en el análisis de las entrevistas a la Lic. Cynthia Ducoing, directora del Museo del Vino de Guanajuato y representante clave de la Asociación de Vitivinicultores, revela un escenario dual para el sector vitivinícola y enoturístico de Dolores Hidalgo. Por un lado, se identifica un potencial significativo sustentado en ventajas competitivas únicas, como condiciones climáticas ideales para el cultivo de la vid, el impulso estratégico de una Indicación Geográfica Protegida (IGP) para el vino de Guanajuato, y una posición geográfica privilegiada dentro de un corredor turístico consolidado, complementado con una creciente oferta de experiencias auténticas y personalizadas.

Por otro lado, el diagnóstico expone desafíos estructurales críticos que obstaculizan su desarrollo: una fragmentación histórica entre actores clave, la falta de una estrategia unificada de marketing y comercialización, la carencia de una bodega ancla que consolide la cadena de suministro, y un déficit generalizado de profesionalización en áreas técnicas, de gestión empresarial y de servicios turísticos. A esto se suma la dependencia de recursos públicos discontinuos y la insuficiente articulación de una oferta turística integrada que logre retener al visitante por periodos más largos.

Sin embargo, se observan esfuerzos transformadores en marcha, como el desarrollo de una plataforma digital transaccional, la creación de redes colaborativas con prestadores de servicios ("Ruido del Río"), y la integración del vino con otros atractivos culturales y artesanales de la región. Estos proyectos reflejan una transición hacia un modelo más organizado y orientado a la experiencia de destino. El futuro del sector dependerá de su capacidad para superar la fragmentación mediante una gobernanza colaborativa, implementar estrategias de mercadotecnia y comercialización unificadas, fortalecer la formación de capital humano especializado y consolidar modelos de financiamiento mixtos y sostenibles. Solo mediante una acción coordinada entre productores, instituciones gubernamentales y actores locales se podrá capitalizar el enorme potencial de la Ruta del Vino de Dolores Hidalgo y posicionarla como un destino de clase mundial, sostenible e inclusivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo A., Jesús y Berumen S., Salvador (Compiladores), 2003a, Competitividad; implicaciones para empresas y regiones. Universidad de Guadalajara, PROFMEX, Juan Pablos Editor, México.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Inova (2023). Digitalización en el sector vitivinícola: tecnologías y tendencias.
- OeMV (Observatorio Español del Mercado del Vino).
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. New York: Free Press.
- Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. New York: Free Press.
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77-90.
- WWF (2016). Misión Posible. Guía de buenas prácticas en viñedos.
- Cruz, J. (2022). *Redes de colaboración en la industria vinícola: un enfoque estratégico*. Revista de Agricultura y Desarrollo Rural.
- González, A. (2021). *Viñedos de Dolores Hidalgo: un patrimonio en crecimiento*. Editorial Vinícola.
- Gutiérrez, M. (2021). *Estrategias de marketing para el vino mexicano*. Revista de Marketing Agrícola.
- Hernández, L. (2021). *Calidad y competitividad en la producción de vino*. Journal of Wine Research.
- INEGI. (2020). *Estadísticas del turismo en Guanajuato*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Martínez, R. (2020). *Producción artesanal de vino en Guanajuato*. Bodega y Tradición.
- Méndez, S. (2020). *Innovación tecnológica en la viticultura*. Tecnología y Vino.
- Pérez, T. (2022). *Construyendo una marca colectiva: el caso de los vinos de Dolores Hidalgo*. Revista de Identidad Cultural.
- Revista Turismo. (2021). Gobierno del Estado de Guanajuato. Los 13 viñedos que debes conocer en Guanajuato. Recuperado: <https://www.revistaturismo.mx/post/los-13-vi%C3%B1edos-que-debes-conocer-en-guanajuato>
- Ramírez, F. (2019). *Impacto económico del sector vinícola en Guanajuato*. Análisis Económico.
- Rojas, E. (2021). *Capacitación en viticultura: una necesidad del sector*. Educación y Desarrollo Rural.
- Robles, C. (2020). *Sostenibilidad en la producción de vino en México*. Revista de Sostenibilidad Agrícola.
- Salazar, J. (2021). *Turismo vinícola en Dolores Hidalgo: oportunidades y retos*. Turismo y Desarrollo.
- Sánchez, P., et al. (2019). *Viticultura en Guanajuato: un estudio de caso*. Revista de Ciencias Agrarias.

# ENOTURISMO INMERSIVO: LA EXPERIENCIA DEL VINO DIGITAL EN DOLORES HIDALGO

10.60968/IAET.3594-035X.947

Daniel Eduardo Torrejón Rojel, Maciel Romo Zamarrón

Universidad Tecnológica del Norte de Guanajuato, [danieltorrejon@utng.edu.mx](mailto:danieltorrejon@utng.edu.mx)  
Universidad Tecnológica del Norte de Guanajuato, autor-secundario [maciel.romo@utng.edu.mx](mailto:maciel.romo@utng.edu.mx)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**Innovación / Turismo digital

**PALABRAS CLAVE**

CATÁLOGO INMERSIVO, ENOTURISMO, RECORRIDOS 360°, TURISMO DIGITAL, VIÑEDOS

**RESUMEN**

El enoturismo se ha posicionado como una de las actividades turísticas con mayor crecimiento en México, especialmente en regiones emergentes como Dolores Hidalgo, Guanajuato. No obstante, el desarrollo del sector enfrenta limitaciones derivadas de la estacionalidad, la dependencia de eventos específicos como la Vendimia y la Fiesta del Vino y la escasa presencia digital de pequeños y medianos productores. Ante esta problemática, el proyecto “Enoturismo inmersivo: la experiencia del vino digital en Dolores Hidalgo” plantea una solución basada en tecnologías inmersivas para fortalecer la promoción turística, mejorar la accesibilidad a la información y ampliar el alcance de los viñedos locales.

El estudio empleó un enfoque exploratorio-descriptivo sustentado en entrevistas, encuestas y análisis de plataformas de recorridos virtuales. Se trabajó con información proporcionada por los viñedos participantes y con referentes estructurales como Ruta del Vino Guanajuato (2025), Panoraven (2023) y Spatial.io (2024). El resultado principal es el diseño de un catálogo digital inmersivo, estructurado mediante wireframes y un mapa de navegación que integra fichas informativas estandarizadas, recorridos virtuales 360°, galerías multimedia y espacios de interacción dentro de un entorno tridimensional. Esta propuesta se valida con un prototipo funcional albergado en Spatial.io que permite experimentar de manera remota la oferta enoturística de la región.

Los resultados evidencian diferencias significativas entre la información oficial disponible y los datos reales proporcionados por los productores, lo que confirma la necesidad de un sistema actualizado y centralizado. Asimismo, la respuesta positiva de los viñedos participantes y la alta afluencia observada durante la Fiesta del Vino 2025, con más de 8,000 visitantes, sugieren que existe un amplio potencial para incorporar experiencias digitales como complemento de la oferta presencial. El proyecto demuestra que los recorridos virtuales, junto con una plataforma inmersiva bien estructurada, pueden incrementar la visibilidad del destino, fortalecer la cultura vitivinícola local y contribuir al desarrollo económico regional mediante un turismo accesible, sostenible e innovador.

Wine tourism has become one of the fastest-growing segments in Mexico’s tourism industry, particularly in emerging regions such as Dolores Hidalgo, Guanajuato. However, its development continues to face important challenges, including strong seasonality, dependence on specific events such as the Vendimia and the annual Wine Festival and limited digital visibility among small and mid-sized producers. In response to these issues, the project “Immersive Enotourism: A Digital Wine Experience in Dolores Hidalgo” proposes an immersive-technology-based solution aimed at strengthening tourism promotion, improving access to accurate information, and expanding the reach of local vineyards.

The study employed an exploratory-descriptive approach supported by interviews, surveys, and comparative analysis of virtual-tour platforms. Data were collected directly from participating vineyards and complemented with structural references such as Ruta del Vino Guanajuato (2025), Panoraven (2023), and Spatial.io (2024). The main outcome is the design of an immersive digital catalog, developed through wireframes and a navigation map that integrate standardized producer profiles, 360° virtual tours, multimedia galleries, and interactive spaces within a three-dimensional environment. The proposal was validated through a functional prototype hosted on Spatial.io, allowing users to remotely experience the region’s enotourism offer.

Findings reveal notable discrepancies between official public information and the data provided by producers, confirming the need for a centralized and constantly updated system. In addition, the positive response from participating vineyards and the high turnout at the 2025 Dolores Hidalgo Wine Festival, attended by more than 8,000 visitors, indicate strong potential for digital experiences as a complement to on-site tourism. The project demonstrates that virtual tours, combined with a well-structured immersive platform, can increase destination visibility, strengthen the region’s wine culture, and contribute to local economic development through accessible, sustainable, and innovative tourism initiatives.

## INTRODUCCIÓN

El enoturismo se ha consolidado en los últimos años como una de las ramas más dinámicas del turismo cultural y gastronómico, aportando no solo al desarrollo económico, sino también a la valorización de la identidad y tradiciones de cada región productora. En este contexto, el municipio de Dolores Hidalgo, Guanajuato, ha cobrado relevancia al posicionarse como un territorio con gran potencial vitivinícola, siendo parte de la Ruta del Vino del Bajío y sede de eventos de gran impacto como la Fiesta del Vino 2025, que atrajo a miles de visitantes y demostró el creciente interés del público por la cultura del vino.

No obstante, a pesar de este potencial, la promoción de los viñedos y sus experiencias turísticas aún enfrenta retos importantes, como, la estacionalidad de las actividades, la dependencia de eventos específicos como la Vendimia, y la escasa visibilidad digital de pequeños productores que no cuentan con recursos suficientes para posicionarse en el mercado. Estos factores limitan la capacidad de Dolores Hidalgo para consolidarse como un destino enoturístico de visita constante y accesible a públicos más diversos.

En respuesta a estas necesidades surge el proyecto “La experiencia del vino al alcance de un clic, Dolores Hidalgo”, una propuesta innovadora que integra la tradición vitivinícola con el uso de tecnologías inmersivas. A través del diseño de un catálogo digital con recorridos virtuales en 360° y contenidos interactivos, el proyecto busca ampliar el acceso al enoturismo, ofrecer una plataforma que dé visibilidad tanto a grandes como a pequeños productores, y generar una promoción constante más allá de los eventos puntuales.

## DESARROLLO

El turismo digital ha evolucionado hacia la creación de entornos inteligentes que integran tecnologías interactivas para mejorar la experiencia del visitante. De acuerdo con Buhalis y Amaranggana (2015), los destinos turísticos inteligentes se distinguen por la personalización y la accesibilidad de la información. En este sentido, el proyecto se apoya en el diseño de un catálogo digital inmersivo que utiliza herramientas tecnológicas para conectar al público con la oferta vitivinícola de Dolores Hidalgo. La estructura propuesta se inspira en la Ruta del Vino Guanajuato (2025) y adopta recursos de plataformas como Panoraven (2023) y Spatial (2024), que facilitan la creación de recorridos 360° y entornos 3D accesibles desde cualquier dispositivo.

### *Problemática del enoturismo tradicional*

La oferta en Dolores Hidalgo se caracteriza por la concentración de visitantes en eventos muy centralizados y específicos como es la vendimia, una promoción digital heterogénea y la ausencia de un repositorio único con información actualizada. Estas condiciones generan incertidumbre en visitantes potenciales y desventajas competitivas para productores pequeños que no cuentan con recursos para mantenimiento constante de sitios web o campañas digitales.

### *Tecnologías inmersivas como oportunidad*

Las soluciones tecnológicas que combinan fotografía 360°, espacios informativos y entornos 3D facilitan la exploración virtual de bodegas y viñedos, incrementan la intención de visita y permiten experiencias accesibles todo el año (Tussyadiah et al., 2018). Plataformas como Spatial.io facilitan la creación de espacios inmersivos accesibles desde navegadores y dispositivos móviles, posibilitando eventos en vivo y encuentros entre visitantes y productores sin la necesidad de contar con la infraestructura tecnológica y profesionales especializados.

### *Referentes y aporte comparado*

La Ruta del Vino Guanajuato centraliza información pero carece de recorridos inmersivos; Panoraven provee técnicas de tours 360° aplicables al turismo; Spatial.io añade capacidades colaborativas y multiplataforma. La propuesta de este estudio integra prácticas y aprendizajes de estos referentes para diseñar un catálogo escalable y accesible.

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un catálogo digital inmersivo que integre recorridos virtuales y contenidos interactivos para promover los viñedos de Dolores Hidalgo y fortalecer el enoturismo regional mediante tecnologías innovadoras.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del sector enoturístico local.
- Identificar las necesidades y oportunidades del enoturismo regional.
- Diseñar contenidos interactivos que faciliten la difusión y la validación por usuarios.
- Sistematizar la información de los viñedos en un catálogo inmersivo 360°.
- Fomentar la creación de una comunidad virtual.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es el catálogo digital inmersivo como sistema tecnológico y comunicacional que concentra la oferta enoturística del municipio. Se analiza su diseño, modo de implementación y su capacidad para mejorar la visibilidad, accesibilidad y continuidad promocional de los viñedos.

## METODOLOGÍA

El enfoque metodológico se basó en un diseño exploratorio-descriptivo, dividido en las siguientes fases: Diagnóstico Inicial, Sistematización y análisis de Actividades y finalizando con el Prototipo prevaleciendo su usabilidad y navegabilidad para el usuario final.

Se emplearon entrevistas y encuestas a productores locales para conocer su percepción del enoturismo digital, así como análisis comparativos de plataformas inmersivas. El desarrollo técnico se fundamentó en los lineamientos de diseño propuestos por Panoraven (2023) y Spatial (2024), garantizando la accesibilidad y navegabilidad del entorno.

## FASES DEL DESARROLLO

### *Diagnóstico inicial:*

Correo informativo a productores, aplicación de encuestas y entrevistas semiestructuradas.

### *Instrumentos:*

Entrevista semiestructurada a enocultores (preguntas sobre hectáreas, variedades, prácticas sostenibles, infraestructura y oferta turística).

Desarrollo de encuesta de experiencia enoturística para visitantes (evaluación del catálogo inmersivo, navegación, expectativas) utilizadas para la captura de retroalimentación y así poder calcular el impacto.

Registro documental y consolidación de precios y servicios, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Síntesis general del análisis*

<b>Dimensión</b>	<b>Observaciones clave</b>
<b>Capacidad agrícola</b>	Viñedos consolidados con actividades estacionales ricas para el turismo
<b>Potencial turístico</b>	Ya reciben visitantes; hay demanda nacional e internacional
<b>Infraestructura disponible</b>	Existe, pero es heterogénea; requiere fortalecimiento
<b>Productos propios</b>	Diversificación que enriquece la experiencia turística
<b>Interés tecnológico</b>	Existe voluntad de sumarse a experiencias inmersivas
<b>Limitaciones detectadas</b>	Infraestructura, promoción, personal, normativas

### *Sistematización y análisis de Actividades:*

Consolidación de respuestas; comparación de precios y servicios con catálogos oficiales.

- Viñedo Los Arcángeles: el catálogo reporta un costo de \$450.00 por persona, mientras que la página oficial indica \$550.00.

- Bernat Vinícola: mantiene una coincidencia de \$350.00 entre ambas fuentes.

- Cuna de Tierra: presenta una diferencia significativa, con \$800.00 en el catálogo para una experiencia completa y \$300.00 en el sitio web solo para el recorrido.

- La Santísima Trinidad: el catálogo señala un costo de \$690.00, pero en la página web se ofrecen servicios complementarios desde \$790.00.

- Tres Raíces: el catálogo menciona un costo de \$200.00, mientras que el sitio oficial ofrece una promoción con un costo total de \$275.00.

- Cavas Manchón, por su parte, no se encuentra listado en el catálogo estatal, pero en su portal se promociona una experiencia completa con cata de cuatro vinos y visita guiada por un enólogo, con un costo de \$1,200.00 por persona.

Esta revisión permitió identificar diferencias relevantes entre los costos y servicios publicados en estas plataformas y la información disponible directamente en los portales oficiales de algunas vinícolas, lo que evidencia la necesidad de una plataforma más precisa, actualizada y centralizada para la promoción del enoturismo en la región.

*Variación de precios:* Los datos confirman ajustes marginales (+\$100-\$500) en el catálogo oficial en comparación con las cifras reales, especialmente en experiencias completas.

Promociones y extras: Los auténticos precios por persona en vinícolas como Arcángeles y Santísima Trinidad incluyen cata premium o complementos; puede que el catálogo refleje tarifas “base” o genéricas.

Promociones no incluidas: Tres Raíces tiene una promoción en su sitio (a \$275) que el catálogo no refleja —esto requiere análisis sobre actualización de fuentes.

Vacios relevantes: Cavas Manchón no está en el catálogo, lo que sugiere una falta de actualización y análisis para incluirla en la plataforma oficial.

### *Prototipo*

#### Definición de Estructura Inicial

La definición de la estructura inicial constituye el primer paso para el diseño del wireframe del catálogo digital inmersivo. Esta fase se centra en organizar los contenidos y funcionalidades prioritarias que deberán estar presentes en la versión preliminar, con el fin de garantizar claridad, navegabilidad y pertinencia de la información para el usuario.

#### *Selección de viñedos a integrar en el wireframe*

De los seis viñedos identificados en la región de Dolores Hidalgo, tres respondieron de manera positiva y dos mostraron un interés real de participación. Para efectos del wireframe inicial se propone trabajar con los tres viñedos confirmados, lo que permitirá:

- Garantizar representatividad mínima en la etapa piloto.
- Probar la efectividad de la estructura con casos reales.
- Generar confianza con los productores participantes al mostrar un avance tangible.

Estos viñedos se incorporarán con fichas informativas estandarizadas que incluirán datos clave como nombre, ubicación, servicios, eventos y vínculos de contacto.

#### *Identificación de secciones clave*

Con base en el análisis de la Ruta del Vino Guanajuato, que organiza su información en torno a productores, experiencias, eventos y servicios, y considerando los objetivos del proyecto, se definen las siguientes secciones clave para el wireframe:

- Inicio / Presentación del catálogo: Descripción breve del proyecto y bienvenida, Destacar el valor de la experiencia inmersiva.
- Ficha de productor vitivinícola: Nombre y logotipo del viñedo, Historia y descripción del viñedo, Servicios ofrecidos (enoturismo, catas, hospedaje, gastronomía, productos derivados del vino), Fotografías principales y videos promocionales, Datos de contacto y vínculo a sitio web/redes sociales.
- Recorridos virtuales 360°: Integración de visitas virtuales inmersivas a cada viñedo, Puntos interactivos o de información que destaquen cavas, viñedos, salas de degustación y hoteles asociados, Narrativa audiovisual para contextualizar la experiencia.
- Agenda de eventos y actividades: Calendario de eventos anuales como la Vendimia o la Fiesta del Vino, Actividades periódicas (catas, talleres, conciertos), Posibilidad de preinscripción digital a actividades destacadas.
- Comunidad virtual, Espacio para conectar visitantes con productores, Foros o chats dentro del entorno inmersivo en Spatial.io, Enlace a redes sociales de los viñedos.
- Información práctica y planificación del viaje, Ubicación geográfica de los viñedos en mapa interactivo, Rutas de acceso y transporte, Sugerencias de hospedaje y gastronomía complementaria.

#### *Esquema de navegación sugerido*

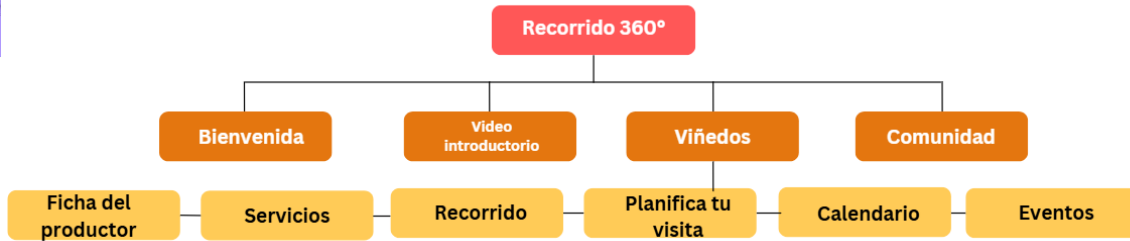
-El wireframe inicial presentará un esquema de navegación sencillo, organizado en un menú principal permitiendo al usuario encontrar rápidamente la información más relevante, al tiempo que facilitará la integración de elementos inmersivos en fases posteriores, como se mencionan en la Figura 01 y Figura 02 inicialmente como el wireframe inicial del catálogo y posterior un mapa del.

### **Figura 01**

*Wireframe inicial del Catálogo Digital Enoturismo*



**Figura 02**  
 Mapa del sitio / Wireframe



Como parte del desarrollo del catálogo digital inmersivo propuesto se presenta a continuación una serie de imágenes (mockup) que ilustran la estructura funcional del sitio virtual. Estas capturas corresponden a diferentes secciones del recorrido 360° alojado en la plataforma Spatial.io Vineyard: NFT WINE CLUB, la cual ha sido utilizada como referencia base para el diseño de la experiencia inmersiva.

Cada imagen incluida en este apartado proviene de un entorno tridimensional que simula la navegación por un viñedo digital, permitiendo visualizar elementos clave como el ingreso al recorrido, el menú interactivo, la galería de servicios y la presentación de los viñedos participantes como se presentan en la Figura 03, Figura 04, Figura 05 y Figura 06. Estas representaciones no solo respaldan la propuesta de estructura del sitio, sino que también ejemplifican la lógica de navegación y la disposición de contenidos que se busca replicar en el prototipo del catálogo.

**Figura 03**  
 Ingreso a recorrido 360° alojado en la plataforma Spatial.io. Vineyard: NFT WINE CLUB



**Figura 04**  
 Ingreso a primera parte de propuesta de Wireframe (Mockups de bienvenida, Video Introducción, Viñedos comunidad) alojado en la plataforma Spatial.io. Vineyard: NFT WINE CLUB



**Figura 05**

Ingreso Viñedos alojado en la plataforma Spatial.io. Vineyard: NFT WINE CLUB



**Figura 06**

Ingreso menú interactivo o espacios informativos alojado en la plataforma Spatial.io. Vineyard: NFT WINE CLUB



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN (IMPACTO ESPERADO)

Los resultados preliminares del proyecto reflejan una alta aceptación por parte de los productores participantes, especialmente aquellos interesados en fortalecer su presencia digital. El impacto del proyecto se evidenció en la última Fiesta del Vino 2025 en Dolores Hidalgo, donde más de 8,000 visitantes mostraron interés en las experiencias digitales (Periódico Correo, 2025). La integración de herramientas inmersivas permitirá proyectar un modelo de turismo accesible y sostenible, en línea con las tendencias descritas por Tussyadiah et al. (2018).

### Impacto Esperado

El proyecto “*Enoturismo inmersivo la experiencia del vino digital en Dolores Hidalgo*” propone una transformación digital del enoturismo regional mediante el diseño de un catálogo inmersivo alojado en Spatial.io. . A través de recorridos virtuales 360°, fichas interactivas y una estructura visual clara en cual se espera generar un impacto significativo en las siguientes áreas:

#### Mayor Visibilidad para Productores Pequeños y Grandes

- La estandarización de fichas informativas y recorridos virtuales permite que todos los viñedos, sin importar su tamaño o nivel de consolidación, tengan presencia equitativa en la plataforma.
- Las imágenes del recorrido 360° muestran cómo se estructura visualmente esta inclusión, con menús interactivos, galerías de servicios y accesos directos a cada productor.
- Esto contribuye a reducir la brecha digital entre viñedos con recursos limitados y aquellos con mayor infraestructura promocional.

#### Creación de Comunidad Virtual de Enoturismo

- El catálogo inmersivo incorpora espacios para reseñas, testimonios y foros de interacción, fomentando el diálogo entre visitantes,

productores y promotores turísticos.

- La plataforma en Spatial.io permite encuentros virtuales, recorridos guiados en tiempo real y eventos colaborativos, fortaleciendo el sentido de comunidad.
- Esta dimensión social del proyecto promueve el intercambio de experiencias, recomendaciones y aprendizajes, consolidando una red activa de enoturismo digital.

#### *Impulso Económico Local*

- Al ampliar la visibilidad de los viñedos y facilitar el acceso a sus servicios, se espera un aumento en la demanda turística (presencial y virtual), lo que puede traducirse en mayores ingresos por venta de vinos, hospedaje, gastronomía y experiencias complementarias.
- El catálogo también actúa como canal de promoción para productos derivados (cosméticos, mermeladas, jugos), fortaleciendo la cadena de valor regional.
- La derrama económica beneficiará no solo a los productores, sino también a comercios, operadores turísticos y prestadores de servicios locales.

#### *Turismo Accesible y Continuo*

- La experiencia inmersiva rompe con la estacionalidad del enoturismo, permitiendo que los viñedos estén disponibles para exploración todo el año.
- La accesibilidad multiplataforma (web, móvil, VR) garantiza que cualquier persona, sin importar su ubicación o capacidad de desplazamiento, pueda vivir la experiencia.
- Esto amplía el perfil del visitante, incluyendo estudiantes, familias, turistas internacionales y personas con movilidad limitada, promoviendo un turismo más inclusivo y sostenible.

## CONCLUSIONES

El proyecto “Enoturismo inmersivo la experiencia del vino digital en Dolores Hidalgo” se posiciona como una propuesta visionaria que fusiona con éxito la tradición vitivinícola regional con las tecnologías inmersivas del turismo digital. A través del diseño de un catálogo digital que incluye recorridos virtuales 360° e interacciones multimedia, se afrontan directamente los principales desafíos del enoturismo local: la estacionalidad de la afluencia, la limitada visibilidad de productores menores y la oferta promocional fragmentada.

Este enfoque no solo amplía las fronteras de la experiencia turística más allá de eventos puntuales como la Vendimia, sino que también inserta a Dolores Hidalgo en la nueva era del turismo digital, democratizando el acceso y fortaleciendo la cultura vitivinícola.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buhalis, D., & Amaranggana, A. (2015). Smart tourism destinations enhancing tourism experience through personalisation of services. En I. Tussyadiah & A. Inversini (Eds.), *Information and Communication Technologies in Tourism 2015* (pp. 377–389). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14343-9\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14343-9_28)
- Dittus, R. (2021). Introducción a una semiótica del guion. Academia.edu. [https://www.academia.edu/download/68551208/Introduccion\\_a\\_una\\_semiotica\\_](https://www.academia.edu/download/68551208/Introduccion_a_una_semiotica_)
- Hall, C. M., & Mitchell, R. (2008). *Wine marketing: A practical guide*. Routledge.
- Panoraven. (2023). Tour virtual 360: Qué es y cómo crearlo. <https://panoraven.com/blog/es/tour-virtual-360/>
- Periódico Correo. (2025, junio 3). Éxito en la Fiesta del Vino Dolores Hidalgo 2025: más de 8 mil visitantes. <https://periodicocorreo.com.mx>
- Ruta del Vino Guanajuato. (2025). Ruta del Vino Guanajuato. <https://rutadelvinoguanajuato.com.mx>
- Secretaría de Turismo de Guanajuato. (2024). Informe anual de actividades turísticas y enoturismo 2024. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Spatial. (2024). Plataforma de experiencias inmersivas Spatial.io. <https://spatial.io>
- Tussyadiah, I. P., Wang, D., Jung, T. H., & tom Dieck, M. C. (2018). Virtual reality, presence, and attitude change: Empirical evidence from tourism. *Tourism Management*, 66, 140–154. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.12.003>

# ANÁLISIS DE LA CREATIVIDAD EN ESTUDIANTES DE 10–11 AÑOS MEDIANTE EL TEST DE PENSAMIENTO CREATIVO DE TORRANCE (TTCT) Y SU COMPARACIÓN POR GÉNERO

10.60968/LAET.3594-035X.95

Guadalupe Esmeralda Alcalá González<sup>1</sup> Hilda Cristina Martínez Tovar<sup>2</sup> Rubí Alcalá González<sup>3</sup> Perla Mayara Alcalá González<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/ITES de la Región Carbonífera [2228@rcarbonifera.tecnm.mx](mailto:2228@rcarbonifera.tecnm.mx),

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/ITES de la Región Carbonífera [2220@rcarbonifera.tecnm.mx](mailto:2220@rcarbonifera.tecnm.mx),

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México/ITES de la Región Carbonífera [9617@rcarbonifera.tecnm.mx](mailto:9617@rcarbonifera.tecnm.mx),

<sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México/ITES de la Región Carbonífera [9608@rcarbonifera.tecnm.mx](mailto:9608@rcarbonifera.tecnm.mx),

## Línea de investigación: Educación

### Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el nivel de creatividad en estudiantes de quinto grado de primaria mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT), así como comparar los niveles de creatividad según el género, la edad, el tipo de escuela y el gusto por aprender ciencia. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y transversal. La muestra estuvo conformada por 129 estudiantes de entre 9 y 11 años, pertenecientes a cuatro escuelas primarias, tres públicas y una privada. Para la recolección de datos se utilizó el TTCT, complementado con un cuestionario de variables sociodemográficas y de interés por la ciencia. El análisis de la información se realizó mediante estadística descriptiva, a través del cálculo de medias y desviación estándar, y estadística inferencial, empleando el Análisis de Varianza (ANOVA) para la comparación de grupos.

Los resultados descriptivos indican un nivel de creatividad global de medio a medio-alto ( $M = 9.26$ ;  $DE = 2.454$ ), destacándose la dimensión de fluidez, mientras que la flexibilidad presentó menor desarrollo. El análisis inferencial mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de creatividad según el género y la edad; sin embargo, se identificaron diferencias significativas por tipo de escuela ( $p < 0.05$ ), observándose mayores niveles de creatividad en estudiantes de contextos socioeconómicos medio y medio-alto. Asimismo, no se encontró una relación significativa entre la creatividad y el gusto por aprender ciencia.

Se concluye que el contexto escolar y socioeconómico influye de manera relevante en el desarrollo de la creatividad, lo que resalta la importancia de implementar estrategias pedagógicas equitativas que fortalezcan el pensamiento creativo en la educación primaria.

*Palabras clave: Alumnos, Creatividad, Edad, Género y Pensamiento Creativo*

### Abstract

The present study aimed to analyze the level of creativity in fifth-grade primary school students using the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT), as well as to compare creativity levels according to gender, age, type of school, and interest in learning science. The research was conducted with a quantitative approach, using a non-experimental, cross-sectional design. The sample consisted of 129 students aged between 9 and 11 years, from four primary schools, three public and one private. Data collection was carried out using the TTCT, complemented by a questionnaire on sociodemographic variables and interest in science. Data analysis was performed using descriptive statistics, through the calculation of means and standard deviations, and inferential statistics, employing Analysis of Variance (ANOVA) for group comparisons.

The descriptive results indicate an overall creativity level ranging from medium to medium-high ( $M = 9.26$ ;  $SD = 2.454$ ), with the fluency dimension standing out, while flexibility showed lower development. The inferential analysis showed that there are no statistically significant differences in creativity levels based on gender and age; however, significant differences were identified by school type ( $p < 0.05$ ), with higher creativity levels observed in students from medium and medium-high socioeconomic contexts. Likewise, no significant relationship was found between creativity and the enjoyment of learning science.

It is concluded that the school and socioeconomic context significantly influence creativity development, highlighting the importance of implementing equitable pedagogical strategies that strengthen creative thinking in primary education.

*Keywords: Students, Creativity, Age, Gender, and Creative Thinking*

## INTRODUCCIÓN

Kim, (2019) Menciona que la creatividad se puede conceptualizar como una capacidad que involucra el conocimiento y el afecto que posibilita que toda persona pueda estructurar un proceso psicológico conllevándolo a demostrar conductas caracterizadas por un perfil de: exclusividad, fluidez y organizadas dirigidas a encontrar soluciones frente a las dificultades.

La creatividad establece una de las competencias primordiales para el desarrollo académico, cognitivo y social de los estudiantes. Evaluar la creatividad desde edades tempranas permite tener un diagnóstico para identificar áreas de oportunidad y descubrir talentos especiales, y orientar intervenciones pedagógicas que maximicen el pensamiento divergente. En este contexto, el TTCT se ha consolidado como uno de los instrumentos más utilizados a nivel internacional para medir el potencial creativo en población infantil y juvenil. El TTCT fue diseñado originalmente por E. Paul Torrance en la década de 1970 y consiste en tareas orientadas a evaluar habilidades cognitivas como fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración. Su aplicación ha permitido cuantificar el pensamiento divergente y ofrecer una aproximación cuantitativa de la creatividad.

Krumm, et al., (2023) Mencionan que el Test de Pensamiento Creativo de Torrance TTCT por su nombre en inglés (Torrance, 1990), es una de las pruebas más utilizadas para evaluar la creatividad. La misma está basada, en parte, en el concepto de producción divergente de Guilford (Kaufman, Plucker, & Russell, 2012), y se compone de dos subtests, uno verbal y otro de figuras, cada uno con dos formas paralelas, A y B, siendo posible su administración tanto en forma grupal como individual (Torrance, 1990; Torrance et al., 1992).

Actualmente existe estudios donde se utiliza la prueba TTCT para formación infantil donde permite realizar comparaciones por edad y sexo Krumm, et al., (2023)

En este sentido, el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) se ha consolidado como uno de los instrumentos más utilizados para la medición de la creatividad infantil, al permitir evaluar dimensiones como la fluidez, la flexibilidad, la originalidad y la elaboración. No obstante, diversos factores como el género, la edad, el tipo de escuela y el contexto socioeconómico, así como el interés por aprender ciencia, pueden influir en el desarrollo del pensamiento creativo.

Por ello, el presente estudio tiene como propósito analizar el nivel de creatividad en estudiantes de quinto grado de primaria, así como comparar los niveles obtenidos en función del género, la edad, el tipo de escuela y participación en los proyectos de ciencia, aportando evidencia empírica que contribuya a la toma de decisiones educativas orientadas al fortalecimiento de la creatividad en la educación básica.

## DESARROLLO

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la creatividad en estudiantes de 10 a 11 años de quinto grado de primaria a través del Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT), comparando los niveles obtenidos según el género, la edad, el tipo de escuela y el gusto por aprender ciencia.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir el nivel de creatividad de los estudiantes de quinto grado de primaria
- Describir las características de la creatividad de los estudiantes según las dimensiones evaluadas por el TTCT (fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración, según la versión aplicada).
- Comparar los niveles de creatividad por género, edad y tipo de escuela
- Analizar la relación entre el gusto por aprender ciencia y el nivel de creatividad en estudiantes de quinto grado de primaria

### OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación es la creatividad en estudiantes de quinto grado de primaria con edades entre 10 y 11 años, evaluada mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT). En particular, se analizan los niveles y dimensiones de la creatividad —fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración— y su variación en función del género, la edad, el tipo de escuela (pública y privada), así como su relación con el gusto por aprender ciencia

## METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y transversal, de alcance descriptivo, comparativo y correlacional, ya que se midió el nivel de creatividad en un solo momento y se compararon los resultados en función de variables sociodemográficas y de interés académico.

De acuerdo con Hernández et al., (2018) para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativa de la población

Krumm, et al., (2023) Mencionan que la prueba de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT por su nombre en inglés, Torrance et al., 1992), es una de las pruebas más utilizadas para evaluar la creatividad. La misma está basada, en parte, en el concepto de producción divergente de Guilford (Kaufman et al., 2011; Kaufman et al., 2012), y se compone de dos subtests, uno verbal y otro de figuras, cada uno con dos formas paralelas, A y B, siendo posible su administración tanto en forma grupal como individual (Torrance, 1990; Torrance et al., 1992)

La población estuvo conformada por estudiantes de quinto grado de primaria pertenecientes a cuatro escuelas primarias, de las cuales tres son públicas y una privada. La muestra estuvo integrada por 129 alumnos, con edades entre 10 y 11 años, quienes participaron de manera voluntaria en el estudio. La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, considerando la accesibilidad, la disponibilidad de los participantes y la autorización de las instituciones educativas involucradas.

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la encuesta, y el instrumento aplicado fue el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT), al cual se le añadieron preguntas de carácter sociodemográfico, tales como género, edad, tipo de escuela y el gusto por aprender ciencia. El instrumento consistió en un cuestionario estructurado, el cual fue aplicado de manera presencial a los alumnos de quinto grado de primaria, siguiendo las indicaciones establecidas para la correcta aplicación del TTCT.

El Procedimiento de aplicación y procesamiento de datos, las respuestas obtenidas fueron capturadas y sistematizadas en la plataforma Google Forms, lo que permitió una adecuada organización, almacenamiento y procesamiento de la información. Posteriormente, los datos fueron exportados a un software estadístico para la realización del análisis descriptivo e inferencial, conforme a los objetivos planteados en la investigación. La participación de los estudiantes fue voluntaria, garantizando en todo momento la confidencialidad y el anonimato de la información recolectada. Asimismo, se contó con la autorización de las instituciones educativas participantes para la aplicación del instrumento.

El análisis de los datos recopilados se realizó utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales mediante el software Minitab 18.

## FASES DEL DESARROLLO

### Fase 1. Diseño del instrumento

En esta fase se diseñó y adecuó un cuestionario estructurado, dirigido a alumnos de quinto grado de primaria, con el propósito de evaluar la creatividad mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) y recabar información complementaria relacionada con su gusto por aprender ciencia. El instrumento incluyó datos generales del participante, tales como edad, género y tipo de escuela (pública o privada). Reactivos del TTCT, correspondientes a las dimensiones de fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración, de acuerdo con la versión aplicada y preguntas cerradas relacionadas con el gusto por aprender ciencia, utilizando opciones de respuesta sencillas y comprensibles para el nivel educativo de los participantes (mucho, no mucho, un poco, nada). Las preguntas fueron formuladas con un lenguaje claro y accesible, considerando las características cognitivas y educativas de los alumnos, con el fin de asegurar la comprensión adecuada de los reactivos y la validez de las respuestas.

### Fase 2. Recolección de datos y análisis estadístico

En la segunda fase se llevó a cabo la aplicación del instrumento a una muestra de 129 alumnos de quinto grado de primaria, pertenecientes a cuatro escuelas primarias, de las cuales tres son públicas y una privada. La aplicación del cuestionario se realizó de manera presencial, garantizando la correcta comprensión de las instrucciones y de los reactivos por parte de los estudiantes. Posteriormente, las respuestas obtenidas fueron capturadas y sistematizadas en la plataforma Google Forms, lo que permitió su adecuada organización y posterior procesamiento.

El análisis de los datos se realizó mediante estadística descriptiva, a través del cálculo de frecuencias, porcentajes, medias y desviación estándar, así como la elaboración de gráficos (barras, histogramas y diagramas de caja). Estadística inferencial, utilizando pruebas como Prueba t de Student, para comparar los niveles de creatividad según género, edad y tipo de escuela. ANOVA para analizar diferencias en la creatividad según el gusto por aprender ciencia. Estas pruebas permitieron identificar diferencias y relaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas.

### Fase 3. Interpretación de resultados

En la tercera fase se realizó la interpretación de los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico, con el propósito de comprender el nivel de creatividad de los alumnos de quinto grado de primaria y su relación con el género, la edad, el tipo de escuela y el gusto por aprender ciencia. Los hallazgos fueron analizados considerando la estadística descriptiva y el análisis de varianza (ANOVA)

Finalmente, los resultados fueron contrastados con la literatura científica reciente, lo que permitió fundamentar las conclusiones del estudio y proponer recomendaciones educativas orientadas al fortalecimiento de la creatividad y el interés por la ciencia en la educación primaria

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

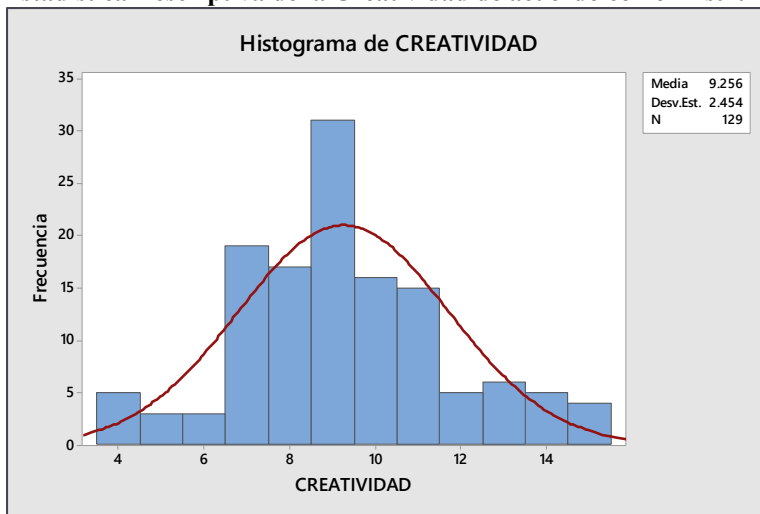
El Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) se considera uno de los instrumentos más utilizados en contextos educativos para evaluar el pensamiento creativo de niños y adolescentes (Coronado-Hijón, 2015). Estudios normativos recientes con niños escolares han establecido valores descriptivos para el TTCT, lo que permite comparar el desempeño creativo entre distintas muestras (Krumm, Arán Filippetti & López, 2024). Además, el TTCT integra tareas tanto figural como verbal para estimar habilidades de pensamiento divergente y creativo (STELAR). Estudios psicométricos han explorado también la validez de este instrumento en poblaciones de primaria (Oliveira et al., 2009).

### Análisis descriptivo del nivel de creatividad

En el presente estudio se evaluó el nivel de creatividad de 129 alumnos de quinto grado de primaria mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT). Con base en los resultados obtenidos en el análisis estadístico descriptivo, como se observaron en la Figura 1 indican que el puntaje promedio de creatividad se ubicó en 9.26, con una variabilidad moderada reflejada por una desviación estándar de 2.454. El puntaje mínimo observado fue 4, mientras que el máximo alcanzado fue 15, lo que da un rango amplio de desempeño dentro de la muestra.

Según las categorías definidas por el instrumento TTCT, los alumnos evaluados presentan un buen nivel de creatividad, esto se observa en la Tabla 1

**Figura 1**  
**Estadística Descriptiva de la Creatividad de acuerdo con el Instrumento TTCT**



Nota: Elaboración propia en el software Minitab 18

**Tabla 1**  
**Estadística Descriptiva de la Creatividad de acuerdo con el Instrumento TTCT**

Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo	Rango
CREATIVIDAD	9.256	2.454	4.000	15.000	11.000

Nota: Elaboración propia en el software Minitab 18

El Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) permite analizar la creatividad a partir de cuatro dimensiones fundamentales: fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración. En la Tabla 2 se presentan los estadísticos descriptivos correspondientes a cada uno de estos aspectos, considerando una escala de interpretación donde 1 representa un nivel bajo de desempeño creativo y 4 un nivel destacado.

Los resultados indican que los alumnos evaluados presentan un nivel de creatividad global de medio a medio-alto, destacándose principalmente en la fluidez, mientras que la flexibilidad representa el aspecto con menor desarrollo. Estos hallazgos sugieren que los estudiantes tienen mayor facilidad para generar ideas que para transformarlas o abordarlas desde múltiples perspectivas, lo cual resalta la importancia de implementar estrategias pedagógicas orientadas a fortalecer la flexibilidad y la originalidad del pensamiento creativo.

**Tabla 2**  
**Estadística Descriptiva de la Creatividad de acuerdo con las dimensiones fundamentales**

Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo	Rango
FLUIDEZ	2.6899	0.8366	1.0000	4.0000	3.0000
FLEXIBILIDAD	2.0465	0.7990	1.0000	4.0000	3.0000
ORIGINALIDAD	2.1860	0.8729	1.0000	4.0000	3.0000
ELABORACION	2.3333	0.8956	1.0000	4.0000	3.0000

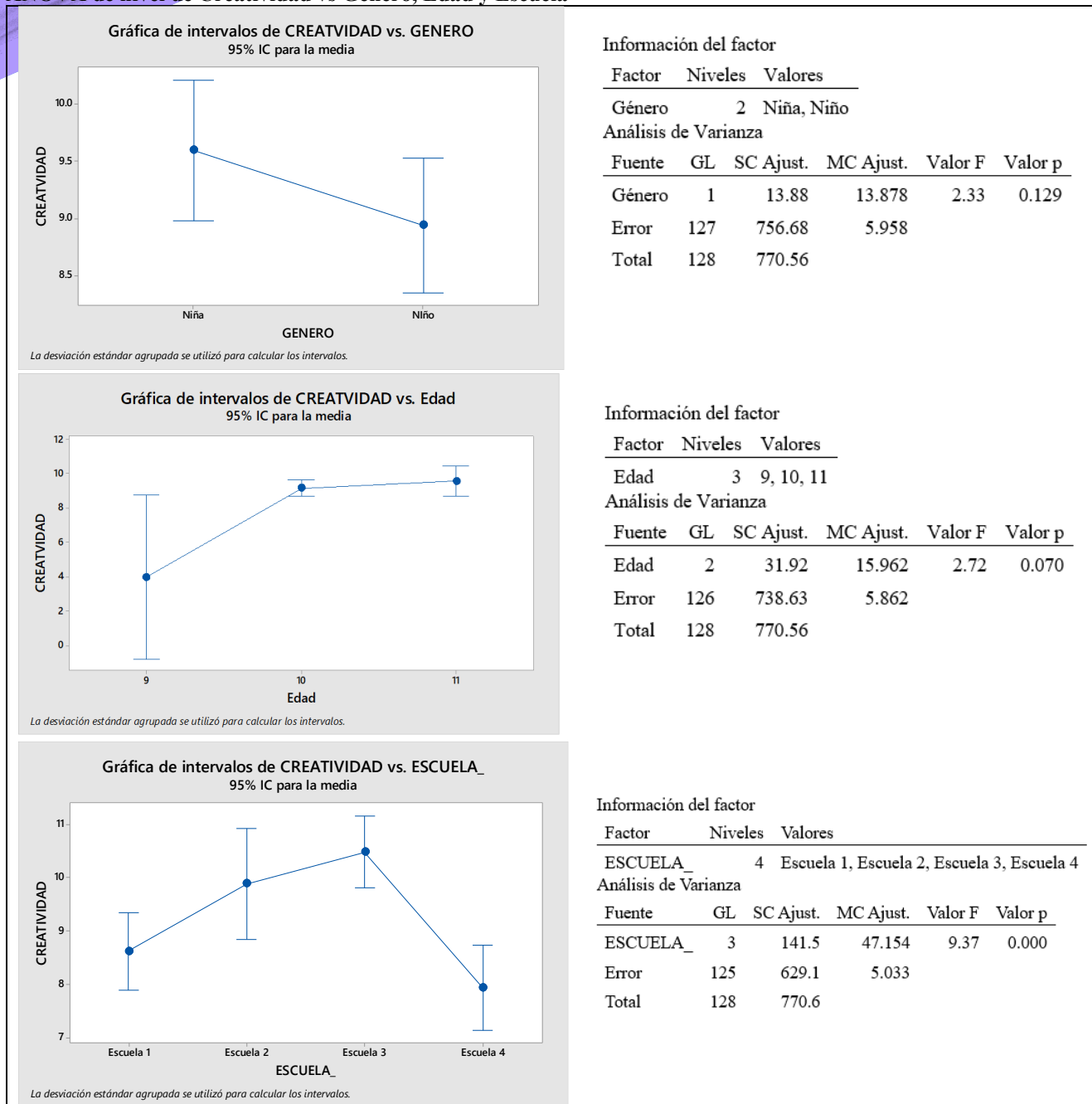
*Nota:* Elaboración propia en el software Minitab 18

Con el propósito de comparar los niveles de creatividad por género, edad y tipo de escuela, se realizó un análisis estadístico inferencial a partir de los puntajes obtenidos en el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) en una muestra de 129 estudiantes de quinto grado de primaria.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) que se muestran en la Figura 2 confirma que no existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de creatividad entre niñas y niños ( $F = 2.33$ ;  $p = 0.129$ ). Por lo tanto, se define que el género no es un factor determinante en la creatividad, se observa que las niñas tienen un nivel ligeramente superior en comparación de los niños. Al igual que la variable edad, el análisis de varianza define que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de creatividad entre los estudiantes de 9, 10 y 11 años con un resultado de  $p = 0.070$ , aunque existe una tendencia de incremento de acuerdo con el crecimiento de los niños, pero esto no es significativo estadísticamente.

Sin embargo, en el tipo de escuela en relación con los niveles de creatividad se tiene un  $p=0.000$  por lo tanto estadísticamente existe una diferencia significativa, la tendencia de un nivel mayor de creatividad pertenece a las escuelas con nivel socioeconómico medio y medio-alto, por lo tanto, se puede decir que particularmente el contexto escolar y socioeconómico influye significativamente en el desarrollo de la creatividad.

**Figura 2**  
ANOVA de nivel de Creatividad vs Género, Edad y Escuela



Nota: Elaboración propia en el software Minitab 18

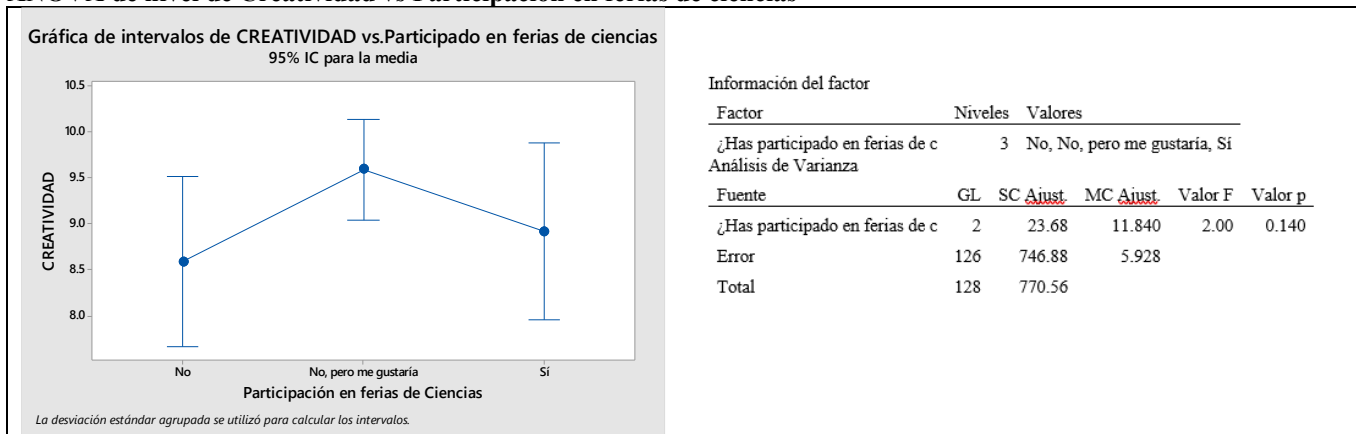
Aunque no se identificaron diferencias estadísticamente significativas por edad, la tendencia observada sugiere que la creatividad puede incrementarse progresivamente conforme avanza el desarrollo cognitivo, lo cual podría estar relacionado con una mayor capacidad de abstracción, expresión de ideas y experiencia escolar acumulada.

Por otro lado, el tipo de escuela resultó ser una variable determinante en los niveles de creatividad. Este hallazgo puede explicarse por la mayor exposición a estímulos culturales, recursos educativos, actividades extracurriculares y apoyo familiar, factores que favorecen el desarrollo del pensamiento creativo.

Estos resultados refuerzan la importancia de considerar el contexto socioeconómico y educativo como un elemento clave en el fomento de la creatividad en la educación primaria, y evidencian la necesidad de implementar estrategias pedagógicas equitativas que promuevan el pensamiento creativo en escuelas de distintos contextos sociales.

El análisis de varianza del nivel de creatividad y la relación con la participación en ferias de ciencia indica que no existe una relación estadísticamente significativa por tener un  $p=0.140$  como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**  
ANOVA de nivel de Creatividad vs Participación en ferias de ciencias



Nota: Elaboración propia en el software Minitab 18

## CONCLUSIÓN

Oliveira, et.al, (2009) mencionan que el objetivo es estudiar la naturaleza unidimensional o multidimensional de la creatividad cuando se evalúa a través de tareas de pensamiento divergente como se propone en el instrumento de Torrance (Torrance Thinking Creative Test, TTCT). En este instrumento se utilizan diferentes subtests de contenido verbal y figurativo orientados a estimar el nivel de creatividad según las dimensiones o funciones cognitivas de fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración de las ideas de los individuos.

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la creatividad en estudiantes de quinto grado de primaria mediante el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT), considerando sus dimensiones, así como su relación con variables sociodemográficas y la participación en ferias de ciencias. Derivado de los resultados obtenidos, se concluye:

El nivel de creatividad de los alumnos evaluados se coloca en un rango medio a medio-alto, con una media de 9.26 y una desviación estándar de 2.454. Esto nos indica que, los alumnos tienen un desarrollo creativo adecuado para su etapa escolar, lo cual simboliza una base favorable para el fortalecimiento del pensamiento creativo desde la educación básica.

En relación con el análisis de las dimensiones de la creatividad evaluadas por el TTCT muestra que los alumnos muestran un mayor desempeño en la fluidez, lo que refleja facilidad para generar ideas. Sin embargo, la flexibilidad se identificó como la dimensión con menor desarrollo, lo que sugiere dificultades para modificar, convertir o abordar las situaciones desde disímiles perspectivas. Estos resultados evidencian la necesidad de diseñar estrategias pedagógicas orientadas a desarrollar la flexibilidad y la originalidad, promoviendo un pensamiento creativo más completo.

Respecto a la comparación de la creatividad según género y edad, los resultados muestran que existen variables que no son factores determinantes en los niveles de creatividad de los estudiantes. Aunque las niñas presentan puntajes ligeramente superiores a los niños, y se observa una tendencia de incremento conforme aumenta la edad, la diferencia no resultan estadísticamente significativas. Esto apunta que la creatividad se manifiesta de manera relativamente homogénea en esta etapa del desarrollo, independientemente del género y la edad.

En contraste, el tipo de escuela sí mostró ser un factor relevante en el nivel de la creatividad. El análisis estadístico justificó diferencias significativas entre los niveles de creatividad de los estudiantes ( $p=0.000$ ), observándose puntajes más altos en aquellos que asisten a escuelas ubicadas en contextos socioeconómicos medio y medio-alto. Este resultado permite concluir que el contexto escolar y socioeconómico influye de manera significativa en el desarrollo del pensamiento creativo, probablemente debido a una mayor disponibilidad de recursos, estímulos educativos y apoyo familiar.

Finalmente, el análisis de la relación entre la creatividad y la participación en actividades relacionadas con la ciencia, como las ferias científicas, no mostró una relación estadísticamente significativa ( $p=0.140$ ). Este resultado sugiere que la participación en este tipo de

actividades, por sí sola, no garantiza niveles más altos de creatividad, lo que resalta la importancia de que dichas experiencias se diseñen de forma sistemática, continua y con un enfoque pedagógico que estimule explícitamente el pensamiento creativo.

En conjunto, los hallazgos de este estudio destacan la importancia de generar ambientes educativos equitativos y estrategias didácticas intencionadas que favorezcan el desarrollo integral de la creatividad en la educación primaria, considerando especialmente el contexto escolar y socioeconómico de los estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la Investigación*. México D.F. : Mc Graw Hill.
- Kaufman, J., Plucker, J., & Russell, C. (2012). Identifying and assessing creativity . *Journal of Psychoeducational Assessment*, 60-73.
- Kim, J. (2019). Resiliencia y creatividad en escolares de primaria. *Dialnet*.
- Krumm, G., Arán-Fiipetti, V., & López, M. (2023). Creativity assessment: two normative studies of the Torrance Test of Creative Thinking (TTCT), Figural, Forms A and B in Argentine children. *Psicogente*.
- Oliveira, E., Almeida, L., Ferrandiz, C., Ferrando, M., Sainz, M., & Prieto, M. D. (2009). Test de pensamiento creativo de Torrance (TTCT): elementos para la validez de constructo en adolescentes portugueses. *Psicothema*. Obtenido de <https://reunido.uniovi.es/index.php/PST/article/view/8821>
- Torrance, E. (1990). Manual for Scoring and Interpreting Results. Torrance Tests of Creative Thinking. Verbal,. *Forms A and B*. *Scholastic Testing Service*.

# EL BIENESTAR ANIMAL EN VACAS LECHERAS: CRITERIOS DE EVALUACIÓN

10.60968/IAET.3594-035X.953

Carlos Iván Ramírez-Torres<sup>1</sup>, Jessica María Flores-Salas<sup>2</sup>, Alan Sebastián Alvarado-Espino<sup>2</sup>, Cayetano Navarrete-Molina<sup>2</sup>, María Guadalupe Torres-Cardona<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, [mvzcirt210189@gmail.com](mailto:mvzcirt210189@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, [jesflor13@hotmail.com](mailto:jesflor13@hotmail.com) (J.M.F.-S.); [alanalvaradouaaan@gmail.com](mailto:alanalvaradouaaan@gmail.com) (A.S.A.-E.); [navarretemolina1977@gmail.com](mailto:navarretemolina1977@gmail.com) (C.N.-M.)

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, [maria\\_torres7599@uaeh.edu.mx](mailto:maria_torres7599@uaeh.edu.mx)

\*Autor de correspondencia: [maria\\_torres7599@uaeh.edu.mx](mailto:maria_torres7599@uaeh.edu.mx)

**Línea de investigación:** Bienestar animal

## Resumen

El bienestar animal en vacas lecheras (BAVL) es el estado del organismo y su capacidad de respuesta al medio ambiente. Este concepto se basa en las cinco libertades (5L): ausencia de hambre y sed; ausencia de dolor, lesiones y enfermedades; ausencia de incomodidad; posibilidad de manifestar conductas de la especie; y ausencia de miedo o angustia. El objetivo de esta investigación fue analizar el concepto de BAVL en vacas lecheras el marco de las 5L. Así como los principales indicadores empleados para su evaluación y el papel del estrés como señal de equilibrio o desequilibrio frente al sistema de producción. A través de una búsqueda, la cual considero principales repositorios de divulgación científica se recopiló la información más relevante sobre el estado actual del BAVL. Los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica, evidenciaron que el análisis del BAVL constituye una condición integral y permitió reconocer que la productividad no puede separarse de las condiciones en las que viven los animales. Por lo tanto, se concluyó que las 5L, así como sus indicadores de evaluación, permiten comprender que el BA no debe considerarse un aspecto secundario en la producción lechera, sino una condición estratégica para mejorar la funcionalidad del hato y favorecer sistemas de producción más responsables y sostenibles. Sin embargo, es esencial continuar explorando y desarrollando indicadores que complementen el análisis integral de las 5L para mejorar la capacidad productiva del sector lechero y lograr una verdadera producción sostenible.

**Palabras clave:** cinco libertades, cojera, estrés térmico, acceso al agua, producción láctea.

## Abstract

Animal welfare in dairy cows (AWDC) refers to the state of the organism and its environment response ability. This concept is based on the five freedoms (5F): freedom from hunger and thirst; freedom from pain, injury, and disease; freedom from discomfort; freedom to express species-specific behaviors; and freedom from fear and distress. The objective of this research was to analyze the concept of AWDC within the framework of the 5F, as well as the main indicators used for its evaluation and the role of stress as a signal of balance or imbalance within the production system. Through a search in the main repositories of scientific publications, the most relevant information on the current state of AWDC was compiled. The results obtained from the literature review demonstrated that the analysis of AWDC constitutes an integral condition and allowed us to recognize that productivity cannot be separated from the conditions in which the animals live. Therefore, it was concluded that the 5F, as well as their evaluation indicators, allow us to understand that animal welfare should not be considered a secondary aspect of dairy production, but rather a strategic condition for improving herd functionality and promoting more responsible and sustainable production systems. However, it is essential to continue exploring and developing indicators that complement the comprehensive analysis of the 5F to improve the productive capacity of the dairy sector and achieve truly sustainable production.

**Keywords:** five freedoms, lameness, heat stress, access to water, dairy production.

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción lechera, el bienestar animal (BA) se ha consolidado como un eje de análisis científico y social, porque la intensificación de la lechería aumentó las exigencias sobre las vacas, lo que en consecuencia incrementó el escrutinio público sobre las condiciones en que se producen los alimentos de origen animal (Ly et al., 2021; Paukovic et al., 2025). Durante décadas, la valoración del desempeño de las unidades pecuarias se concentró en la producción, la eficiencia alimenticia y la reproducción; sin embargo, la evidencia disponible muestra que estos resultados no pueden interpretarse al margen del estado físico y mental del animal, ni de las condiciones en que vive (Collins et al., 2021; de Jong et al., 2025).

En este sentido, el BA no se limita a la ausencia de enfermedad, sino que implica valorar si la vaca dispone de nutrición adecuada, confort, seguridad y oportunidades para expresar conductas relevantes frente a los desafíos del sistema productivo (Mellor, 2016). Por ello, el bienestar se reconoce como una condición central para juzgar la calidad integral de los sistemas lecheros (Mathkari, 2025).

Asimismo, la búsqueda de una buena calidad de bienestar en los sistemas lecheros reviste gran importancia, considerando que la vaca lechera enfrenta exigencias fisiológicas considerables durante la lactancia, cuando las demandas metabólicas y energéticas aumentan y deben sostenerse bajo rutinas intensivas de alimentación, desplazamiento, ordeño y manejo sanitario (Leliveld & Provolo, 2020). En estas condiciones, la calidad del alojamiento, del piso, del área de descanso, de la ventilación, de la relación humano-animal y la exposición a factores ambientales adversos pueden modificar la conducta, la fisiología y la capacidad adaptativa de las vacas (Gieseke et al., 2022).

Cuando estas condiciones no cumplen con la calidad requerida, puede considerarse que las demandas del entorno sobrepasan la capacidad del organismo para conservar la homeostasis, y se presentan respuestas asociadas con estrés, incomodidad y alteraciones conductuales, lo cual pudiera repercutir negativamente sobre la salud y el desempeño funcional del animal (Jurkovich et al., 2024). En consecuencia, la evaluación del bienestar no puede basarse en una impresión general del hato, sino en indicadores que permitan valorar, de forma objetiva, la respuesta del animal frente al sistema de producción (Day et al., 2025).

Para evaluar el BA existe el marco de las cinco libertades (5L), el cual representa una referencia útil para identificar requerimientos biológicos mínimos relacionados con alimentación, confort, salud, conducta y ausencia de miedo o angustia evitables (Mellor, 2016). No obstante, a la dimensión biológica del bienestar se han añadido dimensiones éticas y sociales cada vez más visibles, pues la ciudadanía muestra mayor interés por las prácticas de producción y por el trato que reciben los animales en los sistemas intensivos de leche (Ly et al., 2021; Tamminen et al., 2025; Ventura et al., 2016). Derivado de lo anterior, se ha favorecido el desarrollo de protocolos de evaluación y el uso de indicadores basados en el animal, especialmente conductuales, sanitarios y fisiológicos, para generar valoraciones más objetivas (Linstädt et al., 2024). Entre estos indicadores, el estrés ocupa un lugar transversal, considerando que refleja mecanismos de respuesta frente a dolor, calor, enfermedad, restricción de movimiento u otros desafíos del ambiente, y sus efectos pueden observarse en cambios fisiológicos y conductuales (Jurkovich et al., 2024).

Desde esta perspectiva, la presente investigación analiza el concepto de BA en vacas lecheras (BAVL) y el marco de las 5L, a saber: (1) ausencia de hambre y sed; (2) ausencia de dolor, daño y enfermedad; (3) ausencia de incomodidad; (4) posibilidad de expresar un comportamiento normal; y (5) ausencia de miedo y angustia. Asimismo, analiza los principales indicadores empleados para su evaluación y el papel del estrés como señal de equilibrio o desequilibrio frente al sistema de producción (Day et al., 2025; Mellor, 2016; Jurkovich et al., 2024).

Finalmente, lo anterior contribuirá a la realización de análisis integrales sobre la interacción animal, ambiente y manejo, reconociendo que la calidad de la producción depende, en gran medida, de la calidad de vida que el sistema es capaz de ofrecer a la vaca lechera (Brunt et al., 2024).

## DESARROLLO

El BA puede definirse como el estado físico y mental del animal en relación con las condiciones en las que vive y con su capacidad para afrontar el entorno (Mellor, 2016). Esta definición implica que el bienestar no es una propiedad fija, sino una condición dinámica que varía de acuerdo con el ambiente, el manejo, la etapa fisiológica y la historia previa del individuo (Leliveld & Provolo, 2020). En bovinos productores de leche, esta condición adquiere especial relevancia porque la producción intensiva e impone exigencias fisiológicas y de manejo considerables, de modo que el BAVL debe interpretarse como una condición estructural que influye sobre la salud, la conducta y la funcionalidad biológica del animal (Mathkari, 2025; Paukovic et al., 2025; Linstädt et al., 2024).

Uno de los marcos conceptuales más difundidos para comprender el BA es el de las 5L. Aun que este esquema no agota la complejidad del tema, continúa siendo útil porque resume condiciones mínimas que deben garantizarse en los sistemas de producción y mantiene valor pedagógico y operativo en la evaluación del bienestar (Mellor, 2016). A partir de este marco es posible ordenar los principales componentes del BAVL y vincularlos con indicadores observables dentro de la unidad de producción (Day et al., 2025).

Bajo este marco, la primera libertad se refiere a la ausencia de hambre y sed; la segunda, a la ausencia de dolor, daño y enfermedad; la tercera, a la ausencia de incomodidad; la cuarta, a la posibilidad de expresar un comportamiento normal; y la quinta, a la ausencia de miedo y angustia (Mellor, 2016). En conjunto, estas libertades permiten reconocer que el bienestar depende de la nutrición, el confort,

la salud, la conducta y el estado emocional del animal (Daros et al., 2019; Garvey, 2022; Gieseke et al., 2022; Papageorgiou & Simitzis, 2022; de Oliveira & Keeling, 2018).

La innovación del presente trabajo radica en integrar el marco de las 5L, los principales indicadores de evaluación y el estrés como eje articulador del análisis del BAVL. Este enfoque permite comprender con mayor precisión la relación entre ambiente, manejo, salud, conducta y rendimiento del animal, y aporta una base útil para valorar el bienestar desde una perspectiva integral dentro de los sistemas de producción lechera (Ferreira et al., 2025; Linstädt et al., 2024; Jurkovich et al., 2024).

## *OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

### **Objetivo general**

Analizar el bienestar animal en vacas lecheras a partir del marco de las cinco libertades, los principales indicadores de evaluación y el papel del estrés como eje articulador de su interpretación dentro de los sistemas de producción.

### **Objetivos específicos**

- Describir el concepto de bienestar animal y su importancia en vacas lecheras dentro de sistemas de producción intensiva.
- Explicar el aporte del marco de las cinco libertades para la comprensión del bienestar animal en bovinos productores de leche.
- Identificar los principales indicadores basados en el animal, en los recursos y en el manejo que se utilizan para evaluar el bienestar animal en vacas lecheras.
- Analizar el estrés como indicador de deterioro del bienestar animal y su relación con la salud, la conducta, la reproducción y la producción de leche.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio del presente trabajo corresponde a los sistemas de producción intensiva de vacas lecheras característicos de la Comarca Lagunera, México, entendidos como espacios productivos donde convergen condiciones de alojamiento, alimentación, sanidad, manejo e interacción humano-animal que influyen directamente en el bienestar de los animales. El enfoque en este sistema resulta importante considerando que la Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera en México, registrando un inventario de 507,721 cabezas de bovino lechero, de las cuales 266,560 se encontraban en producción. El inventario mencionado, generó una producción lechera, para 2025, de 2,944.69 millones de litros, lo cual representó una derrama económica de 26,220.42 millones de pesos mexicanos. Los ingresos anteriores por esta actividad fueron significativos, para la región analizada, considerando que representaron el 51% del producto interno bruto, para 2025, del sector pecuario (DGSIAP, 2026). Por ello, analizar el bienestar animal en este contexto permite relacionar las condiciones de vida de las vacas con la funcionalidad productiva de unidades que tienen un papel estratégico en la economía agropecuaria de la región.

## *METODOLOGÍA*

El presente trabajo incluyó una metodología documental de carácter descriptivo y analítico, debido a que el propósito central no fue generar datos experimentales ni desarrollar una revisión sistemática, sino revisar, organizar e integrar información científica sobre el BAVL para construir un texto de divulgación académica con secuencia lógica y estructura formal. La elección de esta metodología se fundamentó en la necesidad de reunir y examinar aportes teóricos y técnicos procedentes de distintas fuentes, con el fin de ofrecer una exposición ordenada, comprensible y sustentada del tema. Este enfoque permitió identificar definiciones, principios, criterios de evaluación y problemas asociados con el BA. Para ello, la metodología partió de la identificación de los núcleos temáticos esenciales: definición de BA, 5L, indicadores de evaluación, el estrés como indicador y principales problemas de bienestar en VL.

Una vez delimitados estos elementos, la información fue organizada en apartados con una función específica dentro del conjunto del trabajo. Esta organización fue necesaria, considerando que el tema involucra dimensiones conceptuales, fisiológicas, conductuales y productivas, las cuales, si no se articulan, tienden a aparecer como contenidos aislados. De este modo, se siguió una lógica de integración conceptual en el tratamiento del contenido, de manera que las ideas sobre alimentación, salud, confort, conducta y estrés se presentaran como componentes relacionados de una misma condición biológica y productiva.

## *FASES DEL DESARROLLO*

### **Fase 1. Delimitación temática**

Se definió como eje central el bienestar animal en vacas lecheras bajo el marco de las cinco libertades. Esta fase permitió establecer el alcance del manuscrito y evitar la dispersión del contenido hacia temas no relacionados con el objeto de estudio.

### **Fase 2. Búsqueda y selección de información**

Se revisó literatura científica sobre bienestar animal, indicadores de evaluación, estrés, salud, conducta, confort, acceso al agua, cojera, mastitis e interacción humano-animal en vacas lecheras. Como resultado, se integraron fuentes recientes y pertinentes para sustentar el desarrollo del artículo.

### **Fase 3. Organización de núcleos temáticos**

La información seleccionada se agrupó en categorías de análisis: concepto de bienestar animal, cinco libertades, indicadores basados en el animal, indicadores basados en recursos y manejo, estrés y principales problemas de bienestar. Esta fase permitió ordenar el contenido de forma coherente.

### **Fase 4. Análisis e integración documental**

Se relacionaron los componentes de alimentación, salud, confort, conducta, ambiente e interacción humano-animal para interpretar el BAVL como una condición integrada. El resultado fue una lectura articulada del bienestar, en la que los problemas sanitarios, conductuales y ambientales se interpretan como expresiones de un mismo sistema.

### **Fase 5. Redacción y ajuste del manuscrito**

Se elaboró el texto final, siguiendo una secuencia progresiva integrando los apartados de introducción del problema, desarrollo conceptual, objetivos, objeto de estudio, metodología, fases, resultados, discusión y conclusión.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis del BAVL permitió identificar que los principales problemas no se presentan como eventos aislados, sino como manifestaciones interdependientes dentro de un mismo sistema de producción (de Jong et al., 2025; Mathkari, 2025). En este sentido, la literatura coincide en que los desafíos más frecuentes en la producción lechera incluyen cojera, estrés térmico, dolor, mastitis, restricciones conductuales y deficiencias del manejo; además, señala que ningún indicador aislado describe por completo el estado del BA (Day et al., 2025; Silva et al., 2021). Desde esta perspectiva, el deterioro del bienestar debe interpretarse como un proceso acumulativo en el que el ambiente, la rutina de manejo, la salud y la conducta interactúan de manera constante (de Jong et al., 2025; Silva et al., 2021). Así, una alteración en un componente del sistema puede amplificarse a través de otros y expresarse simultáneamente en cambios fisiológicos, sanitarios y productivos (de Jong et al., 2025).

En el plano alimenticio, uno de los hallazgos más relevantes fue que la disponibilidad y el acceso efectivo a agua y alimento continúan siendo condiciones decisivas para sostener el BAVL (Ferreira et al., 2025; van Eerdenburg et al., 2021). En este sentido, la restricción de agua compromete el bienestar porque la sed constituye un estado afectivo negativo y, en vacas en producción, el acceso hídrico resulta especialmente importante por la relación existente entre el consumo de agua, la ingestión de materia seca y el rendimiento lechero (Daros et al., 2019; van Eerdenburg et al., 2021). De hecho, en sistemas de pastoreo intensivo se ha reportado que los hatos con acceso irrestricto al agua produjeron más leche que aquellos con acceso restringido, lo que muestra que una práctica aparentemente básica puede traducirse en diferencias funcionales medibles (Daros et al., 2019).

Lo anterior indica que la evaluación del bienestar no debe limitarse a constatar la presencia del recurso, sino valorar si este se encuentra disponible en cantidad, localización y condiciones adecuadas para que todas las vacas puedan utilizarlo sin competencia excesiva (Ferreira et al., 2025; van Eerdenburg et al., 2021). Por lo tanto, las fallas en el suministro hídrico o alimenticio no solo expresan un problema nutricional, sino también una limitación estructural del sistema de manejo (Ferreira et al., 2025).

En el ámbito sanitario, los hallazgos indican que la cojera y la mastitis ocupan un lugar central dentro de los problemas del BAVL (Afonso et al., 2020; Džermeikaitė et al., 2025; Stanek et al., 2024). En este contexto, la cojera es reconocida como uno de los principales problemas globales de la lechería, porque compromete la movilidad, incrementa el dolor y se asocia con menor producción, pérdida de peso, baja fertilidad y descarte prematuro (Džermeikaitė et al., 2025; Sadiq et al., 2017). Además, la cojera no constituye una sola enfermedad, sino la manifestación de diversos procesos infecciosos y no infecciosos; por lo tanto, su presencia suele reflejar deficiencias en pisos, humedad, higiene, tiempos excesivos de permanencia de pie o fallas en su detección temprana (Stanek et al., 2024; Zanon et al., 2024).

De manera similar, la mastitis es una enfermedad multifactorial vinculada al sistema de producción y al ambiente de crianza, la cual representa una de las principales causas de pérdidas económicas derivadas de la disminución de la calidad de la leche y de la reducción de la vida productiva de la vaca (Tommasoni et al., 2023; Stanek et al., 2024; Zanon et al., 2024). Por ello, la cojera y la mastitis deben analizarse no solo como entidades clínicas que requieren tratamiento, sino también como indicadores de fallas estructurales del establo (Tommasoni et al., 2023; Stanek et al., 2024). Cuando estas afecciones aparecen con elevada frecuencia, el análisis no debe centrarse únicamente en la parte terapéutica, sino también en la dimensión epidemiológica y de bienestar, porque su presencia revela que el sistema no está garantizando condiciones suficientes de salud y confort (Zanon et al., 2024).

Adicionalmente, la incomodidad física también emerge como un componente decisivo del BAVL (Bailoni et al., 2025; Smid et al., 2024). Las vacas requieren superficies y espacios que les permitan echarse, levantarse, caminar y descansar con relativa facilidad; además, la literatura sobre indicadores de bienestar destaca que un confort insuficiente se relaciona con mayor riesgo de dolor, cambios de postura, alteraciones locomotoras y reducción del tiempo de descanso (Shewbridge Carter et al., 2022; Smid, 2020). En este sentido, se ha reportado en sistemas intensivos que variables como el tipo de piso, la calidad de las camas, la humedad, la ventilación y la

densidad influyen directamente sobre la comodidad de las VL (Pilarczyk et al., 2025), condicionando de forma directa su experiencia de confort (Smid, 2020).

Esto resulta relevante porque la incomodidad rara vez se expresa de manera aislada. Un entorno mal diseñado favorece lesiones y cojera, lo que a su vez reduce los desplazamientos y modifica la conducta de alimentación y descanso, hasta afectar el equilibrio general del animal (Bailoni et al., 2025; Tillack et al., 2024). Lo anterior fortalece la idea de que el confort físico no debe concebirse como un complemento del sistema (de Andrade Kogima et al., 2022), sino como una condición básica para sostener la estabilidad fisiológica y conductual de la VL (Bailoni et al., 2025).

De manera complementaria, el estrés térmico ocupa un lugar importante dentro de los problemas del BAVL (Oliveira et al., 2025; Țogoe & Mincă, 2024). La evidencia sugiere que la exposición a altas temperaturas provoca en VL cambios fisiológicos y conductuales orientados a mantener la homeotermia, entre ellos un incremento de la frecuencia respiratoria y del consumo de agua, así como una reducción del consumo de alimento y la búsqueda de sombra (Cardoso et al., 2018). Al mismo tiempo, el estrés térmico afecta la productividad, la salud y la reproducción, y ha sido asociado con la disminución del rendimiento lechero, alteraciones hormonales, menor fertilidad y mayor incidencia de trastornos sanitarios como mastitis o metritis (Giannone et al., 2023; Mylostyvyi & Izhboldina, 2025).

Esto sugiere que las altas temperaturas no deben considerarse como un factor ambiental externo al bienestar, sino como una presión biológica capaz de modificar múltiples dimensiones del sistema (Giannone et al., 2023). Cuando la ventilación, el sombreado o las estrategias de enfriamiento son insuficientes, el deterioro del bienestar se expresa tanto en indicadores clínicos como en pérdidas funcionales (Cardoso et al., 2018), lo que refuerza la necesidad de una vigilancia continua de esta variable (Blaga Petrean et al., 2024). A nivel conductual, los hallazgos sugieren que la observación de la vaca aporta información particularmente valiosa para reconocer el deterioro del bienestar antes de que aparezcan daños clínicos evidentes (Linstädt et al., 2024). La revisión publicada por Jurkovich et al. (2024) indica que estresores cotidianos como dolor, enfermedad, calor o conflicto social modifican la forma en que las vacas comen, descansan, interactúan y responden a su entorno. De manera complementaria, la revisión sistemática de Linstädt et al. (2024) señala que varios indicadores basados en el animal, especialmente los conductuales, resultan útiles y prácticos para la valoración del BAVL.

En este sentido, la reducción del tiempo de descanso, la resistencia al desplazamiento, la reactividad frente al humano, las alteraciones de la interacción social o ciertas conductas inusuales no deben interpretarse como detalles menores, sino como señales tempranas de conflicto entre el animal y el sistema (Rørvang et al., 2018). Esto fortalece, en la práctica, la idea de que la conducta constituye una vía privilegiada para detectar malestar, incomodidad o miedo antes de que el problema se vuelva clínicamente más evidente (Mattiello et al., 2024).

Otra dimensión importante del análisis corresponde a la interacción humano-animal, considerando que influye no solo en la dimensión emocional del bienestar, sino también en el funcionamiento cotidiano del establo (Hemsworth et al., 2009). La evidencia sugiere que la calidad de esta relación desempeña un papel central en la definición del BAVL, porque en esta especie las interacciones con el personal son frecuentes e intensas, derivadas del manejo diario, el ordeño y otras rutinas de trabajo (Napolitano et al., 2020). Asimismo, la revisión de Adamczyk (2018) subraya que el enfoque welfarista de la relación humano-animal representa una aplicación práctica en el ganado lechero.

Bajo esta lógica, el manejo brusco, los gritos, los golpes o el arreo violento no solo representan problemas éticos (Marçal-Pedroza et al., 2023), sino también factores que aumentan el miedo alteran la conducta en sala de ordeño y pueden comprometer tanto el bienestar como la productividad (Lange et al., 2020). Por tanto, emerge la necesidad de incluir la relación humano-animal dentro de la evaluación del bienestar, no como un elemento accesorio, sino como una dimensión concreta del sistema de producción (Ventura et al., 2016).

Uno de los hallazgos más destacables del análisis fue el papel del estrés como mecanismo transversal del deterioro del bienestar (Kovács et al., 2015). En este sentido, la revisión publicada por Jurkovich y otros en 2024 sugiere que los estresores más comunes en la lechería intensiva incluyen dolor, enfermedad, estrés térmico, deficiencias de confort y estrés social, todos ellos con capacidad para modificar la conducta y la adaptación fisiológica de las vacas. A su vez, Leliveld & Provoló (2020) señalan que algunos indicadores, como la reducción del consumo de alimento, aparecen en varios problemas de bienestar, por lo cual pueden funcionar como señales generales de compromiso.

Por tanto, lo expuesto anteriormente sugiere que el estrés no surge solo de eventos extremos, sino que también puede construirse a partir de estímulos cotidianos de menor magnitud que, al acumularse, superan la capacidad adaptativa del organismo (Johns et al., 2015). En ese punto, el estrés deja de ser una respuesta funcional y se convierte en una evidencia de que el sistema está imponiendo una carga biológica excesiva sobre la vaca (Giannone et al., 2023).

Desde el punto de vista metodológico, otro resultado relevante fue que la valoración del bienestar debe realizarse mediante una aproximación integral y periódica (Collins et al., 2021). En este sentido, la revisión publicada por Linstädt y colaboradores (2024) resalta la utilidad de los indicadores basados en el animal, mientras que Leliveld & Provoló (2020) destacan la necesidad de integrar distintas fuentes de información con la finalidad de obtener una imagen más completa del bienestar. En este mismo orden de ideas, Silva y otros (2021) señalan que la cojera, la mastitis y la condición corporal se encuentran entre los indicadores basados en el animal más relevantes para la evaluación del BAVL y que su integración en marcos más amplios puede fortalecer la toma de decisiones.

En consecuencia, los hallazgos sugieren que una evaluación útil combina observación directa del animal, registros sanitarios y revisión de recursos del ambiente, así como disponibilidad de agua, calidad del piso, ventilación, sombra, limpieza y diseño de instalaciones

(Duan et al., 2025). Además, como las condiciones del sistema varían según la época del año, el estado fisiológico y la calidad del manejo cotidiano, las evaluaciones no deben limitarse a un momento aislado, sino entenderse como un proceso continuo de vigilancia y corrección (Afonso et al., 2020).

Finalmente, los hallazgos encontrados permiten inferir que el BAVL depende de una red compleja de factores mutuamente vinculados (Mathkari, 2025). Por ejemplo, una restricción en el acceso al agua puede disminuir el consumo y la producción (Daros et al., 2019); del mismo modo, un ambiente incómodo puede favorecer la cojera y reducir el descanso (Tillack et al., 2024); también el calor excesivo puede alterar la conducta, la salud y la reproducción (Oliveira et al., 2025), mientras que una relación humano-animal deficiente puede incrementar el miedo y dificultar el ordeño (Ventura et al., 2016). Lo anterior confirma que el bienestar no debe entenderse como la simple suma de indicadores aislados, sino como una condición global del sistema de producción (de Jong et al., 2025). Más allá de su dimensión ética, su evaluación constituye una herramienta estratégica para identificar puntos críticos, prevenir pérdidas sanitarias y mejorar la sostenibilidad funcional del establo (Ferreira et al., 2025).

## CONCLUSIÓN

El BAVL constituye una condición integral, la cual depende de la interacción entre alimentación, salud, confort, conducta y ambiente de manejo. Su análisis permite reconocer que la productividad no puede separarse de las condiciones en las que viven los animales, considerando que cualquier deficiencia del sistema, repercute sobre su estabilidad fisiológica, su comportamiento y su desempeño funcional. En este sentido, las 5L, los indicadores de evaluación y el estrés como mecanismo integrador, permiten comprender que el BA no debe considerarse un aspecto secundario en la producción lechera, sino una condición estratégica para mejorar la funcionalidad del hato y favorecer sistemas de producción más responsables y sostenibles. Por lo anteriormente expuesto se recomienda a los tomadores de decisiones y organismos responsables de la certificación en buenas prácticas pecuarias en México que consideren el análisis expuesto en este manuscrito al momento de evaluar las unidades de producción bovina lechera, no solamente en la Comarca Lagunera, sino en todo el país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adamczyk, K. (2018). Dairy cattle welfare as a result of human-animal relationship - A review. *Annals of Animal Science*, 18(3), 601–622. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0013>
- Afonso, J. S.; Bruce, M.; Keating, P.; Raboisson, D.; Clough, H.; Oikonomou, G.; Rushton, J. (2020). Profiling detection and classification of lameness methods in British dairy cattle research: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 542. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00542>
- Bailoni, L.; Arango, S.; Guzzo, N.; Curró, S.; Amalfitano, N.; Bianco, E.; Simonetti, E.; Rainis, S.; Sartori, C. (2025). Effect of a daily outdoor access on milk quality and behavior of Italian Simmental dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1659593. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1659593>
- Blaga Petrean, A.; Daina, S.; Borzan, M.; Macri, A. M.; Bogdan, L.; Lazar, E. A.; Popescu, S. (2024). Pasture access effects on the welfare of dairy cows housed in free-stall barns. *Agriculture*, 14(2), 179. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020179>
- Brunt, M. W.; Ritter, C.; LeBlanc, S. J.; Kelton, D. F. (2024). Perspectives of dairy farmers on positive welfare opportunities for dairy cows in Ontario, Canada. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1493796. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1493796>
- Cardoso, C. S.; Von Keyserlingk, M. A. G.; Hötzel, M. J.; Robbins, J.; Weary, D. M. (2018). Hot and bothered: Public attitudes towards heat stress and outdoor access for dairy cows. *PLoS ONE*, 13(10), e0205352. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205352>
- Collins, S.; Burn, C. C.; Wathes, C. M.; Cardwell, J. M.; Chang, Y. M.; Bell, N. J. (2021). Time-consuming, but necessary: a wide range of measures should be included in welfare assessments for dairy herds. *Frontiers in Animal Science*, 2, 703380. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.703380>
- Daros, R. R.; Bran, J. A.; Hötzel, M. J.; Von Keyserlingk, M. A. G. (2019). Readily available water access is associated with greater milk production in grazing dairy herds. *Animals*, 9(2), 48. <https://doi.org/10.3390/ani9020048>
- Day, J.; Ben Haddou, M.; Kylling, R.; Vasdal, G.; van de Weerd, H. (2025). Optimising the selection of welfare indicators in farm animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1661470. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1661470>
- de Andrade Kogima, P.; Diesel, T. A.; Vieira, F. M. C.; Schogor, A. L. B.; Volpini, A. A.; Veloso, G. J.; Ferraz, P. F. P.; Zotti, M. L. A. N. (2022). The welfare of dairy cows in pasture, free stall, and compost barn management systems in a Brazilian subtropical region. *Animals*, 12(17), 2215. <https://doi.org/10.3390/ani12172215>
- de Jong, I. C.; Ouweltjes, W.; Llonch, P.; Martin Valls, G. E.; Ko, H. L.; Spoolder, H.; Strappini, A. C. (2025). A review of existing scientific literature on welfare assessment of farmed species applied in commercial practice: identification of strengths, weaknesses, and areas for further development. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1589462. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1589462>
- de Oliveira, D.; Keeling, L. J. (2018). Routine activities and emotion in the life of dairy cows: Integrating body language into an affective state framework. *PLoS ONE*, 13(5), e0195674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195674>

- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP) (2026). Avance mensual de la producción pecuaria. Disponible en: [https://nube.agricultura.gob.mx/avance\\_pecuario/](https://nube.agricultura.gob.mx/avance_pecuario/) (ultimo acceso el 28 de abril de 2026).
- Duan, W.; Wang, F.; Li, H.; Liu, N.; Fu, X. (2025). Lameness detection in dairy cows from overhead view: high-precision keypoint localization and multi-feature fusion classification. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1675181. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1675181>
- Džermeikaitė, K.; Krištolaitytė, J.; Anskienė, L.; Šertvytytė, G.; Lembovičiūtė, G.; Arlauskaitė, S.; Girdauskaitė, A.; Rutkauskas, A.; Baumgartner, W.; Antanaitis, R. (2025). Effects of lameness on milk yield, milk quality indicators, and rumination behaviour in dairy cows. *Agriculture*, 15(3), 286. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030286>
- Ferreira, M. F.; Stilwell, C.; Stilwell, G. (2025). Simplified internal audits of the welfare quality protocol in dairy farms: Are they effective in improving welfare practices? *Animals*, 15(2), 237. <https://doi.org/10.3390/ani15020237>
- Garvey, M. (2022). Lameness in dairy cow herds: Disease aetiology, prevention and management. *Dairy*, 3(1), 16. <https://doi.org/10.3390/dairy3010016>
- Giannone, C.; Bovo, M.; Ceccarelli, M.; Torreggiani, D.; Tassinari, P. (2023). Review of the heat stress-induced responses in dairy cattle. *Animals*, 13(22), 3451. <https://doi.org/10.3390/ani13223451>
- Gieseke, D.; Lambertz, C.; Gauly, M. (2022). Effects of housing and management factors on selected indicators of the Welfare Quality® protocol in loose-housed dairy cows. *Veterinary Sciences*, 9(7), 353. <https://doi.org/10.3390/vetsci9070353>
- Hemsworth, P. H.; Barnett, J. L.; Coleman, G. J. (2009). The integration of human-animal relations into animal welfare monitoring schemes. *Animal Welfare*, 18(4), 335–345. <https://doi.org/10.1017/s0962728600000737>
- Johns, J.; Patt, A.; Hillmann, E. (2015). Do bells affect behaviour and heart rate variability in grazing dairy cows? *PLoS ONE*, 10(6), e0131632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131632>
- Jurkovich, V.; Hejel, P.; Kovács, L. (2024). A review of the effects of stress on dairy cattle behaviour. *Animals*, 14(14), 2038. <https://doi.org/10.3390/ani14142038>
- Kovács, L.; Kézér, F. L.; Jurkovich, V.; Kulcsár-Huszenicza, M.; Tözsér, J.; Hillmann, E. (2015). Heart rate variability as an indicator of chronic stress caused by lameness in dairy cows. *PLoS ONE*, 10(8), e0134792. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134792>
- Lange, A.; Waiblinger, S.; Heinke, A.; Barth, K.; Futschik, A.; Lürzel, S. (2020). Gentle interactions with restrained and freemoving cows: Effects on the improvement of the animal-human relationship. *PLoS ONE*, 15(11), e0242873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242873>
- Leliveld, L. M. C.; Provolo, G. (2020). A review of welfare indicators of indoor-housed dairy cow as a basis for integrated automatic welfare assessment systems. *Animals*, 10(8), 1430. <https://doi.org/10.3390/ani10081430>
- Linstädt, J.; Thöne-Reineke, C.; Merle, R. (2024). Animal-based welfare indicators for dairy cows and their validity and practicality: a systematic review of the existing literature. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1429097. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1429097>
- Ly, L. H.; Ryan, E. B.; Weary, D. M. (2021). Public attitudes toward dairy farm practices and technology related to milk production. *PLoS ONE*, 16(4), e0250850. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250850>
- Marçal-Pedroza, M. G.; Campos, M. M.; Martins, M. F.; Silva, M. V. B.; da Costa, M. J. R. P.; Negrão, J. A.; Sant’Anna, A. C. (2023). Is the temperament of crossbred dairy cows related to milk cortisol and oxytocin concentrations, milk yield, and quality? *PLoS ONE*, 18(6), e0286466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286466>
- Mathkari, C. (2025). The cow paradox—A scoping review of dairy bovine welfare in India using the five freedoms. *Animals*, 15(3), 454. <https://doi.org/10.3390/ani15030454>
- Mattiello, S.; Celozzi, S.; Soli, F. M.; Battini, M. (2024). Exploring positive welfare measures: preliminary findings from a prototype protocol in loose housing dairy cattle farms. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1368363. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1368363>
- Mellor, D. J. (2016). Updating animalwelfare thinking: Moving beyond the “five freedoms” towards “A lifeworth living.” *Animals*, 6(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ani6030021>
- Mylostyyvi, R.; Izhboldina, O. (2025). An integrated approach using temperature–humidity index, productivity, and welfare indicators for herd-level heat stress assessment in dairy cows. *Animals*, 15(22), 3341. <https://doi.org/10.3390/ani15223341>
- Napolitano, F.; Bragaglio, A.; Sabia, E.; Serrapica, F.; Braghieri, A.; De Rosa, G. (2020). The human-animal relationship in dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 87(S1), 47–52. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000606>
- Oliveira, C. P.; Sousa, F. C. D.; Silva, A. L. D.; Schultz, É. B.; Valderrama Londoño, R. I.; Souza, P. A. R. D. (2025). Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies—a review. *Animals*, 15(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>
- Papageorgiou, M.; Simitzis, P. E. (2022). Positive welfare indicators in dairy animals. *Dairy*, 3(4), 814–841. <https://doi.org/10.3390/dairy3040056>
- Paukovic, D.; Ilic, T.; Maletic, M.; Jovanovic, N. M.; Nedic, S.; Mirilovic, M.; Nenadovic, K. (2025). Welfare on dairy cows in different housing systems: emphasis on digestive parasitological infections. *Veterinary Sciences*, 12(2), 125. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020125>

- Pilarczyk, B.; Pilarczyk, R.; Bąkowska, M.; Tomza-Marciniak, A.; Seremak, B.; Kwita, E.; Juszcak-Czasnojć, M.; Matusievičius, P.; Mišcikienė, R. (2025). The welfare of cattle in different housing systems. *Animals*, 15(13), 1972. <https://doi.org/10.3390/ani15131972>
- Rørvang, M. V.; Herskin, M. S.; Jensen, M. B. (2018). The motivation-based calving facility: Social and cognitive factors influence isolation seeking behaviour of Holstein dairy cows at calving. *PLoS ONE*, 13(1), e0191128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191128>
- Sadiq, M. B.; Ramanon, S. Z.; Mossadeq, W. M. S.; Mansor, R.; Syed-Hussain, S. S. (2017). Association between lameness and indicators of dairy cow welfare based on locomotion scoring, body and hock condition, leg hygiene and lying behavior. *Animals*, 7(11), 79. <https://doi.org/10.3390/ani7110079>
- Shewbridge Carter, L.; Haskell, M. J.; Ball, D.; Gibbons, J.; Harris, W. E.; Rutter, S. M. (2022). Dairy cows value an open area for lying down. *PLoS ONE*, 17(5), e0268238. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268238>
- Silva, S. R.; Araujo, J. P.; Guedes, C.; Silva, F.; Almeida, M.; Cerqueira, J. L. (2021). Precision technologies to address dairy cattle welfare: Focus on lameness, mastitis and body condition. *Animals*, 11(8), 2253. <https://doi.org/10.3390/ani11082253>
- Smid, A. M. C. (2020). The influence of different types of outdoor access on dairy cattle behavior. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 257. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00257>
- Smid, A. M. C.; Burnett, T. A.; Madureira, A. M. L.; McLellan, K. J.; Wegner, C. S.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M. (2024). Access to an outdoor open pack promotes estrus activity in dairy cows. *PLoS ONE*, 19(8), e0308182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308182>
- Stanek, P.; Żółkiewski, P.; Januś, E. (2024). A review on mastitis in dairy cows research: Current status and future perspectives. *Agriculture*, 14(8), 1292. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081292>
- Tamminen, L. M.; Högberg, N.; Berggren, K.; Winblad von Walter, L.; Olmos Antillón, G. (2025). Who cares for happy cows? Exploring views of dairy stakeholders around an imaginary automated animal-based welfare assessment tool. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1704112. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1704112>
- Tillack, A.; Merle, R.; Müller, K. E.; Hoedemaker, M.; Jensen, K. C.; Bartel, A.; Oehm, A. W.; Klawitter, M.; Stock, A. (2024). The relationship between lameness prevalence and pasture access in 659 dairy herds in Germany. *PLoS ONE*, 19(6), e0305536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305536>
- Țogoe, D.; Mincă, N. A. (2024). The impact of heat stress on the physiological, productive, and reproductive status of dairy cows. *Agriculture*, 14(8), 1241. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081241>
- Tommasoni, C.; Fiore, E.; Lisuzzo, A.; Gianesella, M. (2023). Mastitis in dairy cattle: On-farm diagnostics and future perspectives. *Animals*, 13(15), 2538. <https://doi.org/10.3390/ani13152538>
- van Eerdenburg, F. J. C. M.; Di Giacinto, A. M.; Hulsen, J.; Snel, B.; Stegeman, J. A. (2021). A new, practical animal welfare assessment for dairy farmers. *Animals*, 11(3), 881. <https://doi.org/10.3390/ani11030881>
- Ventura, B. A.; Von Keyserlingk, M. A. G.; Wittman, H.; Weary, D. M. (2016). What difference does a visit make? Changes in animal welfare perceptions after interested citizens tour a dairy farm. *PLoS ONE*, 11(5), e0154733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154733>
- Zanon, T.; Alrhoun, M.; Gauly, M. (2024). Assessing the impact of biosecurity practices and animal welfare in small-scale mountain dairy farming. *Scientific Reports*, 14(1), 13294. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63841-y>

# GUÍA PARA DEFINIR ATRIBUTOS DE EGRESO BAJO EL MARCO DE REFERENCIA 2025 DE CACEI

10.60968/IAET.3594-035X.965

Alvaro González-Angeles<sup>1</sup>, Oscar Alejandro López-Núñez<sup>2</sup>, Melquisedec Vicente-Mendoza<sup>3</sup>,  
Eddna Teresa. Valenzuela-Martínez<sup>4</sup> Jorge Eduardo Ibarra Esquer<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez S/N, Mexicali B.C., 21280, México;  
*gangelesa@uabc.edu.mx, oscar.lopez.nunez@uabc.edu.mx, melquisedec.vicente@uabc.edu.mx, eddna\_v@uabc.edu.mx,*  
*jorge.ibarra@uabc.edu.mx*

**Línea de investigación:** Ingeniería aplicada a la Educación.

## Resumen

Las necesidades cambiantes de la comunidad y el sector productivo inducen a los organismos acreditadores a actualizar sus marcos de referencia. De igual manera los programas educativos se ven en la necesidad de actualizar sus objetivos educacionales y atributos de egreso bajo el nuevo marco de referencia CACEI 2025.

Bajo este marco de referencia se rescribieron 3 objetivos educacionales con 2 criterios de desempeño cada uno, y a su vez cada criterio de desempeño tiene 2 indicadores que derivan en preguntas para la encuesta de evaluación de dichos objetivos educacionales.

Por otro lado, se generaron los atributos de egreso a partir del perfil de egreso del PE, revisando que sean congruentes con los 11 atributos que establece CACEI y que tengan interconexión con los nuevos objetivos educacionales.

En algunas cédulas del CACEI se tiene que justificar la relación de los OE con los AE y de los AE del programa educativo con los AE propuestos por CACEI. La justificación se considera clave por lo que se recomienda que se utilice la metodología de Toulmin para justificar esta relación.

La evaluación periódica de los AE y OE ha permitido mejorar el proceso en el que los académicos, egresados y empleadores los valoran. Se han realizado cambios, los cuales incluyen mejoras en las actividades, actualización de indicadores, rúbricas y número de unidades de aprendizaje donde se evalúan los atributos, fortaleciendo además la retroalimentación sistemática, el seguimiento institucional y la mejora continua del programa educativo.

*Palabras clave: Atributos de egreso, Evaluación de AE, MR2025, Objetivos educacionales.*

## Abstract

The evolving needs of the community and the productive sector are prompting accrediting bodies to update their frameworks.

Similarly, educational programs are finding it necessary to update their educational objectives and graduate attributes under the new CACEI 2025 framework.

Under this framework, 3 educational objectives were rewritten with 2 performance criteria each, and in turn each performance criterion has 2 indicators that result in questions for the evaluation survey of said educational objectives.

On the other hand, the graduate attributes were generated from the PE graduate profile, ensuring their consistency with the 11 attributes established by CACEI and their interconnection with the new educational objectives.

In some CACEI forms, the relationship between the OE and the AE, and between the AE of the educational program and the AE proposed by CACEI, must be justified. This justification is considered key; therefore, it is recommended that the Toulmin methodology be used to justify this relationship.

The periodic evaluation of graduate attributes and educational objectives has improved the process by which academics, graduates, and employers assess them. Changes have been implemented, including improvements to activities, updated indicators, rubrics, and the number of learning units where attributes are evaluated. These changes have also strengthened systematic feedback, institutional monitoring, and the continuous improvement of the educational program

*Keywords: graduate attributes, AE Assessment, MR2025, educational objectives.*

## *1.-INTRODUCCIÓN*

Los Programas Académicos de las Instituciones de Educación Superior (IES) deben de realizar procesos de autoevaluación para fijar objetivos de mejora continua, manteniendo su excelencia y respondiendo a las necesidades cambiantes de la comunidad y el sector productivo[1]. La acreditación es fundamental porque funciona como un mecanismo para asegurar y mejorar la calidad de la educación superior, beneficiando a estudiantes, empleadores, IES y a la sociedad en general. La acreditación académica no es solo un trámite, sino un proceso riguroso de evaluación externa que otorga confianza y validez a una institución o programa educativo. El objetivo de la acreditación es proporcionar una opinión independiente sobre si la entidad acreditada tiene sus procesos homologados y calidad en sus servicios[2]. Un programa educativo (PE) acreditado es garantía de calidad, prestigio y confianza laboral.

El Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C., (CACEI) quien forma parte del Padrón de Instancias de Evaluación Externa y Acreditación (IEVA) reconocidas por el Sistema de Evaluación y Acreditación de la Educación Superior (SEAES) de la Secretaría de Educación Pública (SEP) tiene como objetivo primordial, promover que las instituciones de educación superior (IES) ofrezcan educación de calidad a los estudiantes inscritos en programas de ingeniería, mediante la acreditación de los programas educativos en el área de las ingenierías[3].

Para que un programa educativo (PE) de ingeniería cumpla con la acreditación, debe de tener postulados los objetivos educacionales (OE), los cuales son definidos por CACEI como “las habilidades y logros que los egresados de un programa educativo deberán cumplir a 5 años de haber terminado su carrera”.

El PE también debe de tener postulados los Atributos de egreso (AE), los cuales son enunciados que establecen en términos generales las habilidades y aptitudes que deben de poseer todos los recién egresados de los programas de ingeniería en México para lograr los OE postulados por el PE.

Este documento tiene como propósito desarrollar una Guía para definir y evaluar los Objetivos educacionales y Atributos de egreso de los PE de las ingenierías bajo el marco de referencia 2025 (MR 2025) de CACEI.

A manera de ejemplificar los resultados de este proceso, se presentan los OE y AE definidos para el programa de Ingeniería Mecánica" o algo similar.

## *OBJETIVO GENERAL*

Este documento tiene como propósito desarrollar una Guía para definir y evaluar los Objetivos educacionales y Atributos de egreso de los PE de las ingenierías bajo el marco de referencia 2025 (MR 2025) de CACEI.

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

1. Revisar que los OE y AE actualmente establecidos en el PE cumplan con requerimientos de CACEI.
2. Justificar la relación de los OE con los AE utilizando metodología de Toulmin.
3. Justificar la relación de los AE del programa educativo con los AE propuestos por CACEI.
4. Mapeo para determinar la aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del CACEI.
5. Planeación para la valoración de AE en el periodo 2026-1.
6. Mapeo de AE en el mapa curricular del PE Ingeniero mecánico

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El estudio y desarrollo de los OE y AE se llevaron a cabo en el programa educativo ingeniero mecánico de la facultad de ingeniería de una universidad pública.

## 2.-METODOLOGÍA

### 2.1 OBJETIVOS EDUCACIONALES

Para el establecimiento o rediseño de los OE y AE es necesario consultar el manual de procedimientos de la institución. Estos manuales normalmente contienen una instrucción de trabajo o procedimiento para el diseño y actualización, así como instrumentos de valoración de dichos OE y AE.

Para la redacción de los OE se debe de tomar como referencia el Objetivo del programa educativo. Los enunciados deben de responder las preguntas, ¿Qué? ¿Cómo? y ¿Para qué?, reflejando una visión de éxito en el trabajo de los Egresados con valores y/o actitudes. Esta visión de éxito se alcanzará después de 5 años de haber egresado y haber estado trabajando, es decir no es de esperar que un recién egresado pueda cumplir un OE. Además, los OE deben de cubrir necesidades de los grupos de interés o empleadores (GI) del PE. En otras palabras, el OE debe de estar claramente definido (específico), puede ser medido el objetivo (medible), es realista (alcanzable), está alineado con la misión de la organización (relevante) y tiene un tiempo para alcanzar la meta.

Una vez que se hayan redactado los OE, se debe de evaluar congruencia entre estos y las misiones de la Institución, Facultad y PE. En caso de no cumplir con este punto se deben de reescribir los OE anexando las palabras clave para su alineación con las misiones.

Posteriormente se debe de evaluar la congruencia entre los OE y los atributos de egreso (AE) del PE (cédula 4.1.c). En este punto se debe de justificar el grado de impacto de un OE con los atributos de egreso. Se recomienda utilizar el método de Toulmin [4] para la realización de las justificaciones. Por ejemplo: Afirmación: Se considera que el AE1 impacta en el OE3 del PE ingeniero mecánico. Razón: Porque para tener un excelente desempeño y ser referentes (CD2) dentro de ingeniería mecánica por su alto conocimiento técnico, deben de aplicar los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos. Respaldo: Las cédulas 3.2.1 enuncian y describen a detalle los OE, los CD e Indicadores del PE ingeniero mecánico

Es importante señalar que todo el procedimiento anteriormente señalado debe de quedar plasmado en una minuta de trabajo firmada por el grupo de trabajo. Por último, se pasan los nuevos OE a consideración de la academia del PE (o cuerpo colegiado) para su aprobación o en su defecto reestructuración, quedando todo evidenciado en otra minuta de trabajo.

### 2.1.2 EVALUACIÓN DE OBJETIVOS EDUCACIONALES

La evaluación de los OE se realiza a través de mecanismos de seguimiento a la trayectoria laboral de los egresados que tienen un periodo de 5 años de egreso y que ya se encuentran laborando. Para la evaluación de los objetivos educativos se elabora una encuesta con preguntas que evalúen de manera directa e indirecta a criterios de desempeño (CD) e Indicadores. En esta matriz cada OE debe de contener mínimo 2 criterios de desempeño con niveles de dificultad Inicial, Medio y Avanzado. Cada CD debe describir que se debe lograr para alcanzar el OE y debe contener 2 indicadores. Los indicadores deben ser una descripción específica del CD, observable y medible, que derive en una pregunta para la encuesta de egresados y empleadores.

La encuesta debe de ser difundida a través del departamento de vinculación. Quienes deben de contar con procedimiento establecido y una base de datos de Empleadores y Egresados actualizada, ya que es un punto de evaluación por parte de CACEI.

Los grupos de interés (ex alumnos y empleadores) emiten su opinión con respecto a los resultados de la encuesta anual y el nivel de cumplimiento de los OE del PE durante el ejercicio profesional del Egresado.

### 2.2 ATRIBUTOS DE EGRESO

El proceso de creación y/o revisión de los AE inicia cuando el RPE convoca a la academia y comisiona un cuerpo colegiado, quedando como evidencia una Minuta de Reunión de los Acuerdos definidos. El cuerpo colegiado comisionado, define a los

AE como declaraciones claras de la capacidad esperada del egresado y deben ser evidenciadas mediante resultados de aprendizaje de los estudiantes del programa educativo.

Hay que recordar que los AE son enunciados que establecen en términos generales las características que deben de poseer todos los recién egresados de los programas de ingeniería en México y que para su redacción y valoración hay que consultar el manual de procedimientos de la institución.

La redacción de los atributos debe de realizarse en base al perfil de egreso del PE y a los 11 AE sugeridos por CACEI, solo que personalizándolos para cada PE.

Una vez realizada la redacción de los AE personalizados, se procede a la realización de la justificación de la relación entre los atributos del PE y los de CACEI (cedula 4.1.b). Posteriormente, se realiza un mapeo para determinar la aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del CACEI (cedula 4.2.1). Por ejemplo: si en alguno de los atributos del PE mencionamos que los estudiantes del PE analizan y desarrollan procesos de diseño mecánico, industrial, etc. En el mapa curricular debemos de señalar cuales materias o unidades de aprendizaje contribuyen a que el estudiante desarrolle la habilidad del diseño. Este proceso se debe de realizar para todos los atributos enunciados por el PE.

### **2.2.1 VALORACIÓN DE ATRIBUTOS DE EGRESO**

Para la valoración se realiza una planeación general basada en la cedula 4.2.1, el PE decide cuales materias evaluar los atributos. Algunos PE deciden evaluar los AE en todas las materias obligatorias, algunos otros deciden valorar los AE en un extracto de materias del mapa curricular. Independientemente de cómo decidan valorar, la evaluación de los AE se realiza semestralmente de manera progresiva (nivel Inicial, Medio y Avanzado) a través de rúbricas elaboradas por cuerpos colegiados.

Para evaluar los AE se debe de crear una matriz que contenga 2 criterios de desempeño (CD) por cada atributo de egreso, y a su vez cada CD debe de tener 2 indicadores. Los indicadores para cada criterio de desempeño deben ser obtenidos de las PUAS (Programa de Unidad de Aprendizaje) de las unidades de aprendizaje que valorarán dichos atributos. La actividad para valorar cada indicador puede ser una tarea, práctica de laboratorio, reactivos de examen, presentación audiovisual o reporte escrito. El profesor de la asignatura decide la actividad que se ajuste mejor al indicador del atributo correspondiente y debe de entregar todas las evidencias en formato digital.

## **3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El coordinador del PE encomienda a un grupo colegiado la reestructuración de los OE. Los OE fueron definidos a partir del Objetivo del programa educativo, se revisó que fueran congruentes con la misión institucional de la Universidad y de la Facultad, reflejan los logros previstos de los egresados a 5 años de egreso y responden a las necesidades (regionales, estatales o nacionales) de los grupos de interés.

Una vez que los OE fueron generados y revisados, el grupo colegiado los presenta a la academia, autoridades de la facultad y a los grupos de interés. Si no hubiera observaciones se difunden a la comunidad en general a través de páginas oficiales y redes sociales en diferentes idiomas.

### **3.1 OBJETIVOS EDUCACIONALES FINALES**

Después de 5 años, los egresados:

OE1 Continúan con su desarrollo profesional en la práctica de la ingeniería mecánica

CD1 Los egresados reconocen la necesidad de actualizarse para asimilar los cambios y avances tecnológicos

I1 Toman decisiones a partir de datos y normas vigentes.

I2 Utilizan software y tecnologías vigentes en su área de trabajo

CD2 Los egresados reconocen la necesidad de actualizarse a través de diferentes programas formativos

I1 Poseen estudios de posgrado.

I2 Poseen capacitaciones, diplomados, o certificaciones.

OE2 Alcanzan una carrera de liderazgo en las ingenierías afines a mecánica

CD1 Los egresados se desempeñan en puestos directivos en la práctica de la ingeniería mecánica.

I1 Gestionan y agilizan procesos con el fin de elevar la productividad en el trabajo.

I2 Supervisan y/o dirigen a otros para resolver los retos laborales

CD2 los egresados coordinan proyectos importantes afines a mecánica.

I1 Optimizan procesos con el fin de incrementar la productividad.

I2 Definen procesos, metodologías y estándares que tendrán lugar en el desarrollo del proyecto.

OE3 Tienen un excelente desempeño profesional en las áreas de ingeniería mecánica.

CD1 Los egresados son profesionales competentes que pueden adaptarse a diferentes culturas, idiomas y ambientes.

I1 Se integran fácilmente en diferentes equipos, roles y ambientes laborales.

I2 Responden de manera sobresaliente al trabajo bajo presión.

I3 Desarrollan diseño en procesos mecánicos, térmicos o de fluidos.

CD2 Los egresados son referentes dentro de ingeniería mecánica y afines por su alto conocimiento técnico.

I1 Capacitan recursos humanos en áreas de ingeniería mecánica y afines.

I2 Manejan con habilidad todas las herramientas necesarias para llevar a cabo su trabajo.

Los AE fueron generados a partir del perfil de egreso del PE, se revisó la contribución entre AE y OE conforme a lo establecido en la cédula 4.1.c (Figura 1), así como su congruencia con los 11 atributos que establece CACEI en la cédula 4.1.b (Figura 2). Cabe señalar que, en esta ocasión, el PE integró en un solo atributo los AE 6 y 7 establecidos por CACEI, por lo que el PE cuenta con un total de 10 AE. Los acuerdos derivados de este análisis se presentaron al PE Ingeniero mecánico. En caso de existir observaciones, se realizan las correcciones pertinentes. Posteriormente, se presentan los AE finales ante las autoridades, así como a los grupos de interés y la comunidad en general.

### **3.2 ATRIBUTOS DE EGRESO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

- 1.- Aplica los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos
- 2.- Identifica, formula, investiga bibliografía y analiza problemas mecánicos, térmicos y de fluidos, llegando a conclusiones fundamentadas utilizando los principios básicos de las matemáticas, las ciencias naturales y las ciencias de la ingeniería, con consideraciones holísticas para el desarrollo sostenible.
- 3.- Diseña soluciones creativas a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos, y diseña sistemas, componentes o procesos para satisfacer las necesidades identificadas, teniendo en cuenta la salud, la seguridad pública, el costo del ciclo de vida, el carbono neto cero, así como los recursos, la cultura, la sociedad y las consideraciones ambientales.
- 4.- Realiza investigaciones de problemas mecánicos, térmicos y de fluidos, utilizando métodos de investigación, diseño de experimentos, análisis e interpretación de datos, y la síntesis de la información para proporcionar conclusiones válidas.
- 5.- Reconoce las limitaciones de las TIC, Crea, selecciona y aplica, los recursos, las herramientas modernas de ingeniería y TI adecuadas, incluyendo la predicción y la modelización, a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos.
- 6.- Al resolver problemas mecánicos, térmicos y de fluidos, analiza y evalúa los impactos del desarrollo sostenible\* en: la sociedad, la economía, la sostenibilidad, la salud y la seguridad, los marcos legales y el medio ambiente y Aplica los principios éticos y se compromete con la ética profesional y las normas de la práctica de la ingeniería y cumple con las leyes nacionales e internacionales pertinentes. Demuestra que comprende la necesidad de la diversidad y la inclusión.
- 7.- Se desempeña eficazmente (como individuo, y como miembro o líder en equipos diversos e inclusivos y en entornos multidisciplinarios, presenciales, remotos y distribuidos) en el planteamiento de metas y cumplimiento de tareas en tiempo y forma, analizando riesgos e incertidumbre en la ingeniería mecánica.

8.- Se comunica de forma efectiva e inclusiva en actividades de ingeniería mecánica, con la comunidad de ingenieros y con la sociedad en general. Es capaz de comprender y redactar informes y documentación de diseño, hacer presentaciones efectivas, teniendo en cuenta las diferencias culturales, lingüísticas y de aprendizaje para el cumplimiento de tareas en tiempo y forma, analizando riesgos e incertidumbre en la ingeniería mecánica.

9.- Aplica el conocimiento y la comprensión de los principios de gestión de proyectos de ingeniería y la toma de decisiones económicas en el trabajo propio, como miembro y líder en un equipo, para gestionar proyectos y finanzas en entornos multidisciplinarios

10.- Reconoce la necesidad de, y tiene la preparación y capacidad para i) el aprendizaje independiente y durante toda la vida de conocimiento técnico, administrativo y científico de la ingeniería mecánica, ii) la adaptabilidad a las nuevas tecnologías y iii) el pensamiento crítico en el contexto más amplio del cambio tecnológico.

**Figura 1.**  
Contribución entre AE y OE del PE Ingeniero Mecánico.

Cédula 4.1.c Mapa de contribución de los Atributos de Egreso del PE a los Objetivos Educativos del PE				
Ver instrucciones en la siguiente página				
1. Atributos de egreso del PE	2. Objetivos educativos del PE			3. Justificación de la aportación de los AE a los OE del PE
	1ª	2ª	3ª	
Continúan con su desarrollo profesional en la práctica de la ingeniería mecánica	Alcanzan una carrera de liderazgo en las ingenierías afines a mecánica	Tienen un excelente desempeño profesional en las áreas de ingeniería mecánica		
Aplica los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos			X	<p><b>Afirmación:</b> Se considera que el AE 1 impacta en el OE3 del PE ingeniero mecánico.</p> <p><b>Razón:</b> Porque para tener un excelente desempeño y ser referentes (CD2) dentro de ingeniería mecánica por su alto conocimiento técnico, deben de aplicar los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos.</p> <p><b>Respaldo:</b> Las cédulas 321 enuncian y describen a detalle los OE, los CD e Indicadores del PE ingeniero mecánico</p>

Para la valoración de los AE se realizó un mapeo (cédula 4.2.1) para determinar la aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del CACEI (Figura 3). Posteriormente se hizo una planeación (Figura 4) para la evaluación de los AE de manera progresiva a través de rúbricas elaboradas por cuerpos colegiados. Los indicadores para cada criterio de desempeño (CD) deben ser obtenidos de las PUAS (cartas descriptivas) de las unidades de aprendizaje que valorarán dichos atributos. Es importante mencionar que la valoración se hace de manera semestral en las 31 asignaturas obligatorias y 2 de tronco común, donde se va modificando el proceso para contribuir a la mejora continua. Por otro lado, es importante señalar que se requiere hacer un mapeo de cómo quedan distribuidas las materias donde se van a evaluar los AE en la curricula del PE, de manera global y por cada atributo (Figura 5).

Figura 2.  
Equivalencia de los AE del PE respecto a los AE del CACEI.

Cédula 4.1.b Mapa de la equivalencia de los Atributos de Egreso del PE respecto a los Atributos de Egreso del CACEI Ver instrucciones en la hoja correspondiente													
1. Atributos de egreso (AE) del programa educativo	2. Nombre abreviado de los AE del PE	3. Atributos de egreso del CACEI										4. Justificación de la relación entre los atributos del PE y los de CACEI	
		1. Conocimientos de Ingeniería	2. Problemas de Ingeniería	3. Diseño	4. Investigación	5. Uso de Herramientas	6. El Ingeniero y el Mundo	7. Ética	8. Trabajo en Equipo	9. Comunicación	10. Gestión de Proyectos		11. Aprendizaje para la vida
Aplica los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos	Aplica conocimientos	X											<p><b>Afirmación:</b> Se considera que el AE1 del PE ingeniero mecánico es equivalente al AE1 de CACEI.</p> <p><b>Razón:</b> Porque los alumnos en el CD1 "Aplican los conocimientos de las matemáticas, informática y las ciencias naturales a problemas mecánicos en los que se ven envueltos en su quehacer profesional ya sea en las áreas técnicas o de fluidos".</p> <p>En el CD2: "Desarrollan soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos aplicando las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería".</p> <p><b>Respaldo:</b> El documento de Planeación Semestral 2026-1 [sefPlanación], así como los documentos de Resultados de la Valoración del AE1 para el periodo 2026-1 [sefResultados] enuncian y describen a detalle los Indicadores utilizados para los CD mencionados y las materias en las cuales se evalúan a niveles básico, intermedio y avanzado, dentro del PE de Ing. Mecánico. En dicho documento se muestra que en la asignatura de Estática [sefPUA] se valoran todos los CD e I3 a nivel básico, mientras que en las materias de Dinámica y mecanismos [sefPUA] son valorados a nivel intermedio, dejando la valoración de estos CD e I3 a nivel avanzado para la asignatura de Transferencia de calor [sefPUA] demostrando que los conocimientos que en ellas se imparte son pertinentes para la valoración del AE1 del CACEI, de acuerdo a los CD e Indicadores definidos.</p>

Figura 3.  
Mapeo para determinar la aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del CACEI.

Cédula 4.2.1 Mapa de contribución de los cursos del PE a los Atributos de Egreso del PE														
1. Cursos que aportan a los atributos de egreso			2. Atributos de Egreso del PE											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
#	1.a Clave	1.b. Nombre del curso	Aplica conocimientos	Resuelve problemas	Diseño	Investigación	Herramientas TI	Sustentabilidad y ética	Trabajo en equipo	Comunicación	Gestión de proyectos	Actualización		
1	36063	Estática	I											
2	36068	Dinámica	M											
3	36074	Mecanismos	M											
4	36076	transferencia de calor	A											
5	36064	Termodinámica		I										
6	36066	Circuitos electromecánicos		I										
7	36070	Termodinámica		M										
8	36071	Mecánica de fluidos I		M										
9	36086	Sistemas de Generación de Energía		A										
10	36065	Máquinas Herramientas			I									
11	36075	Diseño mecánico			I									
12	36078	Automatización			M									
13	36080	Diseño de elementos de máquinas			M									
14	63090	Aire acondicionado			A									
15	36069	Mecánica de los Materiales				I								
16	36084	Taller de Mantenimiento Industrial				I								
17	36073	Ciencias de los Materiales				M								

Figura 4.  
PLANEACIÓN PARA LA VALORACIÓN DE AE.

ATRIBUTO DE EGRESO		CRITERIO DE DESEMPEÑO	INDICADORES	Materia	NOMBRE		
AE1	Aplica los conocimientos de las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para desarrollar soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos	CD1	El alumno <b>aplica</b> los conocimientos de las matemáticas, la informática y los fundamentos de la ingeniería, para la solución de los problemas planteados.	11.1	los alumnos <b>relacionan</b> las fuerzas que actúan sobre un elemento, resolviendo problemas que involucren fuerzas que actúen en vigas bajo condiciones estáticamente determinadas, para	36063 Estática	I
			11.2	los alumnos <b>aplican</b> los conceptos de la dinámica rotacional, para solucionar problemas que involucren momento angular y <b>rotación a través de las ecuaciones</b>	36068 Dinámica	M	
		CD2	El alumno <b>desarrolla</b> soluciones a problemas mecánicos, térmicos y de fluidos aplicando las matemáticas, las ciencias naturales, la informática y los fundamentos de la ingeniería,	12.1	los alumnos <b>evalúan</b> los elementos rígidos de distintos mecanismos articulados de cuatro barras, mediante los análisis cinemáticos de los cuerpos aplicando las <b>condiciones correspondientes de</b>	36074 Mecanismos	M
				12.2	Los alumnos calculan la transferencia de calor unidimensional y bidimensional de sólidos regulares en estado estable	36076 transferencia de calor	A
AE2	Identifica, formula, investiga bibliografía y <b>analiza problemas</b> mecánicos, térmicos y de fluidos, llegando a conclusiones fundamentadas utilizando los principios básicos de las matemáticas, las ciencias naturales y las ciencias de la ingeniería, con consideraciones holísticas para el desarrollo sostenible	CD1	El alumno <b>identifica</b> problemas a partir los principios básicos de las matemáticas, las ciencias naturales y las ciencias de la ingeniería, con consideraciones holísticas para el desarrollo sostenible*	11.1	Los alumnos <b>determinan</b> los cambios de estado de las sustancias puras y gases ideales, <b>mediante los procedimientos en la</b>	36064 Termofluidos	I
				11.2	los alumnos <b>calculan</b> los valores de resistencia, en circuitos en serie, paralelo y mixto de un circuito, <b>mediante la aplicación de la ley de</b>	36066 Circuitos electromecánicos	I
				11.3	los alumnos <b>determinan</b> los balances de exergía en sistemas termodinámicos aplicando la primera y segunda ley de <b>termodinámica para cuantificar la</b>	36070 Termodinámica	M
		12.1	El alumno <b>integra</b> herramientas matemáticas o de cómputo para desarrollar conclusiones fundamentadas utilizando los	12.1	Los alumnos <b>determinan</b> , mediante la ecuación de Bernoulli, presión, velocidad y carga en sistemas	36071 Mecánica de fluidos I	M
					los alumnos calculan el funcionamiento de las centrales de		

Figura 5.  
MAPEO DE AE EN EL MAPA CURRICULAR DEL PE INGENIERO MECÁNICO.

1er semestre	2do semestre	3er semestre	4to semestre	5to semestre	6to semestre	7mo semestre	8vo semestre	
Cálculo diferencial 33523	Cálculo integral 33530	Cálculo multivariable 34948	Circuitos Electromecánicos 34944	Mecánica de Fluidos I 36071	Mecánica de Fluidos II 36077	Máquinas Hidráulicas 36082	Sistemas de Bombeo 36089	
			AE2-I	AE2-I	AE5-M	AE4-A	AE6-M	AE1-Aplica Conocimiento
Álgebra superior 33524	Mecánica Vectorial 33532	Ecuaciones diferenciales 33537	Ciencia de los Materiales 34973	Ingeniería de Manufactura 34975	Vibraciones Mecánicas 36091	Manufactura Aditiva y Computadora 36093	Sistemas Integrados de Manufactura 36095	AE2-Resuelve problemas
			AE4-M	AE4-M		AE5-M	AE10-A	AE3-Diseño
Modelación de la programación 33525	Química 33533	Electricidad y Magnetismo 33538	Diseño Mecánico Computarizado 34967	Administración 33552	Ingeniería Económica 33556	Emprendimiento y Liderazgo 33560	Evaluación de Proyecto Sustentable 36088	AE4-Investigación
			AE5-I	AE8-MA	AE7-M	AE7-A	AE9-M	AE5-Herramientas TI
				AE6-I	AE6-M	AE6-A		AE6-Sustentabilidad y ética
								AE7-Trabajo en equipo
								AE8-A Comunicación
								AE9-Gestión de proyectos
								AE10-Actualización

## 4.-CONCLUSIONES

La evaluación de los 10 AE del PE se realiza semestralmente de manera progresiva en cada una de las unidades de aprendizaje obligatorias (31 de mecánica y 2 de tronco común TC), a través de rúbricas elaboradas por cuerpos colegiados. Se llenaron las cédulas del marco de referencia 2025, siguiendo las instrucciones que en esos mismos se establece. El éxito de que acepten la relación de los AE con los OE por parte de los evaluadores de CACEI depende en gran medida del énfasis puesto en la justificación, por lo que se considera clave que se justifique utilizando el método de Toulmin.

Se realizó un mapeo para determinar la aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del CACEI. También se realizaron mapeos para visualizar de manera gráfica en el mapa curricular de PE, para visualizar como estaban distribuidas las asignaturas donde se valoran los AE.

Los resultados de la evaluación periódica de los AE han permitido mejorar el proceso en el que los académicos, egresados y empleadores los valoran. Se han realizado cambios, los cuales incluyen mejoras en las actividades, actualización de indicadores, rúbricas y número de UA donde se evalúan los atributos. Finalmente se presentan los resultados englobando la participación de las autoridades, los cuerpos colegiados y grupos de interés.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen enormemente a la FIM- UABC por haber permitido usar sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación y a todo el personal involucrado que de manera directa o indirecta contribuyó en la realización este trabajo.

## 5.-BIBLIOGRAFÍA

- [1] CACEI. (2024). **MARCO ING 2025**. Recuperado de <http://www.cacei.org>
- [2] Consejo Nacional para la Coordinación de la Educación Superior. (2023). **EDUCACIÓN SUPERIOR**. Cons. Nac. para la Coord. la Educ. Super. (pp. 1–169).
- [3] Isabel, L.; Bello, R. (2004). **EL MODELO ARGUMENTATIVO DE TOULMIN EN LA ESCRITURA DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA**. (pp. 1–18).
- [4] Vargas Porras, A. E. (2011). La acreditación: Una forma de estandarizar la educación. **REVISTA EDUCACIÓN**, 26(2), . Recuperado de <https://doi.org/10.15517/revedu.v26i2.2923> (pp. 245)

# TRATAMIENTO DE AFLUENTES AGROINDUSTRIALES EN UN SBR Y HUMEDALES CONSTRUIDOS

10.60968/IAET.3594-035X.955

Carlos Alberto Torres-Balcázar<sup>1</sup>, Gaspar López-Ocaña<sup>2</sup>, Nancy Estrada Pérez<sup>3</sup>, Verónica Isidra Dominguez-Rodríguez<sup>4</sup> and Juan Barajas-Fernández<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: [ing\\_carlos\\_torres@msn.com](mailto:ing_carlos_torres@msn.com)

<sup>2</sup>Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: [ocanagl77@hotmail.com](mailto:ocanagl77@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: [estrada.nancy95@gmail.com](mailto:estrada.nancy95@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, DACBiol, e-mail: [veronica.dominguez@ujat.mx](mailto:veronica.dominguez@ujat.mx)

<sup>5</sup>Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, DAIA, e-mail: [juan.barajas@ujat.mx](mailto:juan.barajas@ujat.mx)

**Línea de investigación:** Tecnología del agua.

## RESUMEN

En el tratamiento de las aguas residuales hay necesidad de combinar tecnologías para tratar afluentes con contaminantes persistentes o emergentes. Los reactores biológicos discontinuos secuenciales (SBR) son tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales, pueden adaptarse a diferentes modalidades de tratamiento eliminando nutrientes y altas cargas de contaminantes. Se evaluó el desempeño de un reactor SBR experimental en combinación con humedales construidos (HC) en serie para el tratamiento de un agua residual proveniente de la industria platanera. Se valoró la remoción de contaminantes utilizando las macrófitas *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*, en humedales de flujo libre y subsuperficial en Tabasco, México. El  $Q_{med}$  fue de 0.14 m<sup>3</sup>/d y las unidades experimentales se integran por un SBR (60 L, con un TRH de 10.97 h), dos sedimentadores (33 L, con un TRH de 5.14 h) y seis humedales construidos en tres trenes con dos humedales (72 L, con un TRH de 10.97 h para flujo libre y 5.7 h para subsuperficial). De los humedales, tres son de flujo subsuperficial y tres de flujo libre, cuatro con especies y dos sin especies como control. Se comparó la calidad del agua tratada (pH, temperatura, SDT, CE, color, turbiedad, OD, POR y DQO). La remoción alcanzada fue del 97.7%, 97.6%, 97.3%, para DQO. del 76.9%, 89.5%, 92.5% para color y 94.4%, 94.4%, 97.8% para turbiedad en los tres trenes de tratamiento, respectivamente. La *Pontederia sagittata* fue la especie con mayor adaptación y tolerancia al tratamiento de estos afluentes.

*Palabras clave:* Agua residual agroindustrial, Humedales construidos, Eficiencia de remoción, reactor discontinuo secuencial.

## ABSTRACT

Due to wastewater issues, there is a need to combine technologies for treating effluents with persistent or emerging pollutants. Sequencing batch reactors (SBRs) are technologies applied to the treatment of industrial wastewater. They can be adapted to different treatment modalities and eliminate nutrients and high pollutant loads. The performance of an experimental SBR reactor in combination with constructed wetlands (CW) in series was evaluated for the treatment of wastewater from the banana industry. Contaminant removal was assessed using the macrophytes *Sagittaria lancifolia* and *Pontederia sagittata* in free-flowing and subsurface wetlands in Tabasco, Mexico. The flow rate was 0.14 m<sup>3</sup>/d, and the experimental units consisted of an SBR (60 L, with an HRT of 10.97 h), two sedimentation tanks (33 L, with an HRT of 5.14 h), and six constructed wetlands in three trains with two wetlands (72 L, with an HRT of 10.97 h for free-flow and 5.7 h for subsurface). Of the wetlands, 3 are subsurface flow and 3 are free-flow, 4 with species and 2 without species as controls. The quality of the treated water (pH, temperature, SDT, EC, color, turbidity, DO, ORP, and COD) was compared. The removal achieved was 97.7%, 97.6%, and 97.3% for COD; 76.9%, 89.5%, and 92.5% for color; and 94.4%, 94.4%, and 97.8% for turbidity in the three treatment trains, respectively. *Pontederia sagittata* is the species with the greatest adaptation and tolerance to treatment of these tributaries.

*Keywords:* Agro-industrial wastewater, Constructed wetlands, Removal efficiency, Sequencing batch reactor.

## INTRODUCCIÓN

El uso de productos químicos en el sector agroindustrial genera aguas residuales que provienen de descargas de procesos, de manipulación y transformación de los recursos en producción, las cuales deterioran la calidad del agua y sedimentos de los cuerpos receptores, afectando de manera crítica y toxicológica la flora y fauna existente en los cuerpos de agua (Rosario et al., 2022). México es el segundo país del mundo después de China que más uso hace de aguas residuales crudas, para riego agrícola los cuales no cuentan con controles de tratamiento adecuado, pues sólo el 57 % de las aguas residuales municipales colectadas son tratadas; 54 % de las plantas menores a 100 litros por segundo funcionan y de estas el 25 % lo hacen de manera adecuada (Mazari y Noyola, 2018).

Este proceso genera un alto índice de contaminación, tomando en cuenta que, si el efluente descargado es proveniente de industrias (petrolera y agrícolas) (Díaz et al., 2022) contienen alta carga química, la cual es en ocasiones de difícil degradación, lo que nos exige la selección de tecnologías aptas para los efluentes de las diversas industrias (Iñiguez y Rivadeneira, 2021). Entre las tecnologías existentes que se aplican a las aguas residuales hay procesos biológicos, químicos y fisicoquímicos (procesos de oxidación avanzada, tecnologías de membranas, etc.) que son capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, con la finalidad de reducir, transformar o eliminar a estos (López et al., 2021).

Para el tratamiento de aguas residuales industriales, se aplican tecnologías que presentan altos costos de operación y mantenimiento, sin embargo, en la actualidad existen tecnologías económicamente viables en cuanto a costos, operación y mantenimiento, dentro de las cuales se aplican biorreactores anaerobios, humedales construidos, entre otros, los cuales tienden a ser sistemas muy eficientes en la separación de materia en suspensión y coloidal, que permiten obtener aguas regeneradas de elevada calidad fisicoquímica y microbiológica. Las lagunas de estabilización se combinan para lugares donde existen disponibilidad de construcción, y dentro de los sistemas biológicos las más comunes son las tecnologías de lodos activados convencionales, de aireación extendida y lodos activados discontinuos secuenciales (SBR) (Verdguer, 2024).

Los SBR se han aplicado en la industria de bebidas no alcohólicas, donde las cargas de entrada reportan DQO de 3100 y 4500 mg/L logrando remover el 88.73% (Linares et al., 2021). El Saïdy et al., (2020), evaluaron la eficiencia de remoción de metales pesados (cadmio, níquel plomo) y pesticidas (malatión) en aguas residuales sintéticas (agrícola e industrial) a través del uso de bio adsorbentes (paja de arroz, RS, y la zeolita, Z) para posteriormente reutilizarla en unidades de cría de peces. Estudiaron 11 grupos de tratamiento encontrando que el más eficiente fue el grupo 10 en donde utilizaron una mezcla de RS (entero y picado) y zeolita encontrando eficiencias de remoción del 92%, 95%, 96%. y 99% para Cd, Ni, Pb y malatión, respectivamente.

Jacobo et al., (2019), estudiaron la operación de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) a escala de laboratorio en el tratamiento de agua residual de una industria chocolatera. Utilizaron un tiempo de retención (THR) de 6 h a una temperatura psicrófila y el agua residual con dos cargas orgánicas volumétricas aplicadas (COV<sub>pl</sub>). La experimentación tuvo dos fases, en la primera utilizaron una carga orgánica de  $1.8 \pm 0.8$  kg de DQO y en la segunda con  $3.5 \pm 0.9$  kg de DQO, analizaron principalmente la remoción de DQO, la producción de biogás y el rendimiento celular experimental. Al finalizar determinaron que el reactor UASB trató eficientemente el agua residual industrial con COV<sub>pl</sub> ya que les permitió alcanzar altos niveles de DQO en el estado estacionario del reactor ( $90.3 \pm 1.3$  % y  $90.6 \pm 3.1$  % durante las etapas experimentales I y II, respectivamente), además de que la producción de biogás se incrementó al momento de elevar las cargas orgánicas obteniendo 0.3 y 0.8 L de biogás, respectivamente.

Saeed et al., (2021), estudió la eliminación de zinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) de lixiviados de un vertedero mediante sistemas de HCFS híbridos; cada sistema incluía un humedal de flujo vertical (FV) seguido de uno de flujo horizontal (FH). Dos sistemas de humedales se rellenaron con materiales orgánicos (turba de coco) o de construcción (ladrillo, arena) y se plantaron con *Phragmites australis* o *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Ambos sistemas se operaron con y sin protocolos de recirculación de efluentes. Las concentraciones de Cr, Ni y Pb fueron de 2–73 mg/kg, 3–12 mg/kg y 0,00004–27 mg/kg, respectivamente, en *Phragmites*; y de 8–34 mg/kg, 3–15 mg/kg y 0,00004–14 mg/kg, respectivamente, en Vetiver. El carbono orgánico (C) y el hierro (Fe) de la fibra de coco y el ladrillo permitieron la eliminación de metales en los humedales de FV; dicha acumulación no se cuantificó en los humedales de FH a base de arena. Los porcentajes de eliminación de Zn, Cr, Ni y Pb aumentaron entre el 75 - 98 %, el 29 - 41 %, el 14-48 %, y el 23-26 %, respectivamente, en los humedales FV durante el periodo de recirculación del efluente (en comparación con los rendimientos de eliminación sin la fase de recirculación). Los porcentajes de eliminación se redujeron en los humedales FH durante el periodo de recirculación. En general, los porcentajes de eliminación de Zn, Cr, Ni y Pb en los humedales de dos híbridos oscilaron entre el 20- 97 %, el 95- 99 %, el 55 -73 %, y el 69 -83 %, respectivamente.

## DESARROLLO

Esta innovación y combinación tecnológica optimiza el tratamiento sostenible de aguas agroindustriales, presentando una eficiencia de remoción de hasta 97.7% de DQO. En cuanto al cumplimiento ambiental, se satisface la norma NOM-001-SEMARNAT-2021. Presenta

sostenibilidad económica, pues reduce los costos de operación y mantenimiento con respecto a las tecnologías convencionales y promueve la mitigación de agroquímicos pues degrada herbicidas y fungicidas complejos, mediante la fitorremediación de aguas residuales en áreas tropicales, con las especies *Sagittaria lancifolia* y *Potenteria sagittata*, siendo esta última especie la que presenta una buena resistencia y adaptación en el tratamiento de estos afluentes.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar un sistema a escala experimental de SBR en combinación con humedales construidos en el tratamiento de efluentes con características agrícolas de la industria platanera que presentan, como contaminantes Paraquat (herbicida) y Mancozeb (fungicida) medidos a través de la DQO.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer y estabilizar un cultivo bacteriano (biomasa de origen porcino) en un reactor SBR para el tratamiento de agua residual agroindustrial.

Implementar y estabilizar seis humedales experimentales, tres de flujo libre y tres de flujo subsuperficial, con las especies *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata*.

Determinar las propiedades fisicoquímicas y volumétricas del afluente y el efluente de las unidades de tratamiento (gasto, pH, temperatura, SDT, CE, Color, Turbiedad, DQO, NT, PT).

Contrastar la calidad del efluente obtenido con los límites máximos permisibles señalados en la normatividad ambiental vigente (NOM-001-SEMARNAT-2021) para verificar el grado de cumplimiento.

## OBJETO DE ESTUDIO

Remover la carga orgánica e inorgánica (DQO), en un sistema híbrido para el tratamiento de aguas residuales de la industria platanera, mediante un Reactor SBR (Sistema biológico secuencial por lotes) y humedales construidos (de flujo subsuperficial y libre) en serie, con macrófitas nativas del sureste de México como *Sagittaria lancifolia* y *Potenteria sagittata*.

## METODOLOGÍA

### Área de Estudio

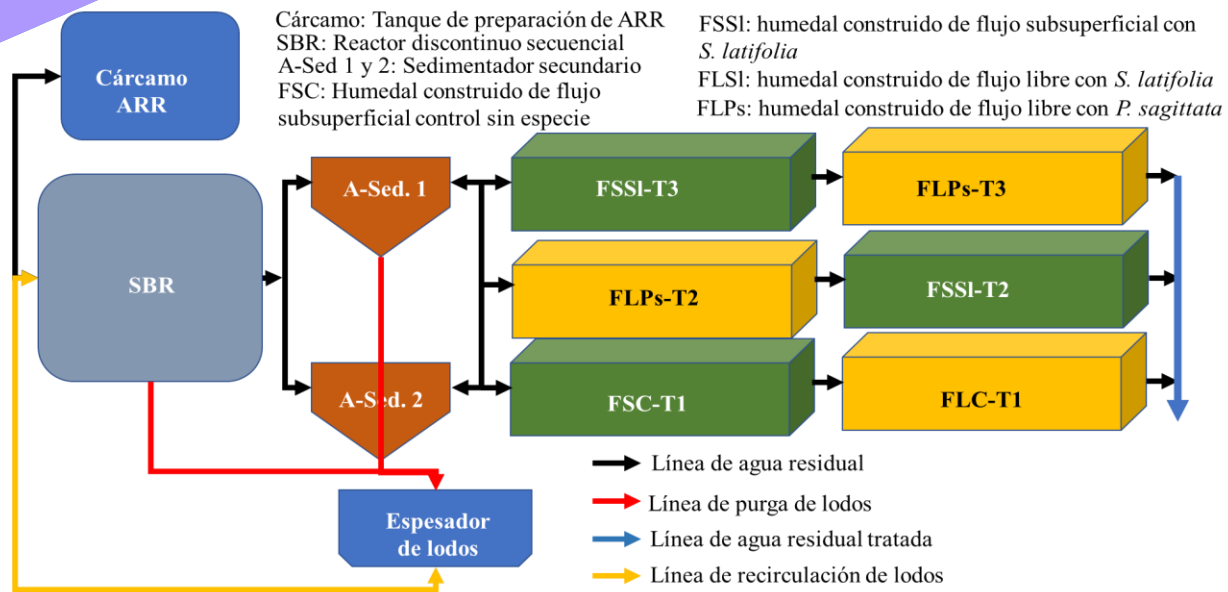
Los métodos, mediciones y experimentos fueron aplicados dentro de las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco UJAT, específicamente en el Laboratorio de Tecnología del Agua de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), ubicada en el km. 05 de la carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque con Bosque de Saloya, 17°59'24.57" Latitud Norte y 92°58'27.22" Longitud Oeste.

### Características del sistema experimental

Las unidades experimentales fueron desarrolladas y construidas por el equipo de investigación cumpliendo recomendaciones de diseño de CONAGUA, (2015). El sistema está compuesto principalmente por un SBR (60 L), dos sedimentadores (33 L) y seis humedales construidos en tres trenes con dos humedales (72 L). De los humedales, 3 son de flujo subsuperficial y 3 de flujo libre, 4 con especies y 2 sin especies como control. El medio de soporte es grava triturada de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Figura 1

Sistema de tratamiento aplicado a las aguas residuales reconstituidas de la industria platanera mediante un SBR- HC.



Fuente: Autores.

## FASES DEL DESARROLLO

### Colecta y siembra de especies

Las especies utilizadas (*Sagittaria latifolia* y *Pontederia sagittata*) fueron recolectadas en un humedal natural ubicado en la DACBIOL. Se realizó su caracterización morfológica y se sembraron las especies ya adaptadas en las unidades experimentales, mostrando diferencias entre trenes, se distribuyeron cinco plantas en cuatro humedales de los tres trenes de tratamientos, quedando un tren sin especie como testigo. Las plantas fueron distribuidas de forma lineal con una distancia de 20 cm entre cada planta, a una profundidad promedio de 10 cm para el total de la raíz, y 10 cm posteriores del tallo, ambas medidas para los dos tipos de humedales (Flujo Libre y Flujo Subsuperficial).

### Colecta de Biomasa porcina

La colecta de estiércol porcino se realizó en el municipio de Centro, específicamente en la comunidad de Ranchería Río Viejo 2ª sección; posteriormente se dejó secar durante 3 días para retirar la mayor carga bacteriana patógena, huevos de helmintos y protozoos, al retirar su humedad, aumenta la carga orgánica, por lo que se pesó la biomasa activa seca a 1 kg para finalmente inocularse en el SBR de estudio para la generación de los lodos activados y su posterior caracterización.

### Caracterización del lodo microbiano

Para la generación del inoculo (cultivo bacteriano) se implementó la metodología sugerida por Torres et al., (2020), el cual constó de materia fecal porcina. Una vez recolectada en campo, a este estiércol, se le determinó su humedad, pH y sólidos volátiles. En el SBR se añadió 1 kg de estiércol hasta aforar 60 L de agua residual. Posteriormente se inició con la aireación constante por cinco días para estabilizarlos, proporcionando alimento de alta carga con DQO <3500 mg/L, cada 8 horas.

### Diseño Experimental

Se evaluó un sistema completamente aleatorio de 6 humedales distribuidos en 3 trenes de tratamientos, teniendo como factores el tipo de humedal (Flujo Libre o Flujo Subsuperficial), y el tipo de especie (*S. latifolia* y *P. sagittata*); de estos mismo se obtuvieron las variables dependientes (pH, Temp., CE, SDT, POR, OD, DQO, turbidez y color). Se empleó un análisis de varianza de Kruskal – Wallis para datos no paramétricos y un contraste de medianas de Mann – Whitney para determinar diferencias estadísticamente significativas, y un ANOVA con contraste de medias de Fisher con LSD con contraste múltiple de intervalos para los datos paramétricos, Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el software de licencia STAGRAPHICS CENTURION™ v 18.0 con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ . Los valores obtenidos se reportan como media  $\pm$  desviación estándar para los datos paramétricos y mediana  $\pm$  intervalo intercuartil para los no paramétricos. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos (tabla 1). El muestreo se realizó en cuatro puntos estratégicos del tren de tratamiento: cárcamo (afluente, ARR), salida de sedimentadores y descargas

finales de cada HC (flujo libre y subsuperficial con especies). Una vez estabilizado el SBR, se obtuvieron tres muestras diarias durante 12 días, con un total de  $N=36$  observaciones por parámetro, procesadas estadísticamente mediante ANOVA y pruebas de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). La caracterización mostró un pH ácido en el SBR ( $\approx 4.7$ ), asociado a alta actividad microbiana, mientras que los humedales estabilizaron los valores hacia la neutralidad ( $\approx 7.7$ ). El sistema mantuvo condiciones oxidantes ( $OD > 2.4$  mg/L, POR positivo), lo que favoreció la nitrificación y la degradación aerobia. Finalmente, se observó una remoción significativa de turbiedad y color en humedales secuenciales subsuperficial-flujo libre, confirmando la importancia de la rizosfera y el sustrato como filtros naturales.

Tabla 1  
Diseño experimental dentro del sistema de tratamiento.

Sustrato	Factor	Nivel	Tratamientos	V. Dependientes
Grava $\frac{3}{4}$ de pulgada	Tipo de Humedal	Flujo Libre	ARR	pH, Temperatura, CE, SDT, POR, OD, Turbidez, Color y DQO.
		Flujo Subsuperficial	SBR	
	Tipo de Especie Vegetal.	<i>S. latifolia.</i>	Tren 1	
		<i>P. sagittata.</i>	Tren 2	
			Tren 3	

#### Descripción del sistema

El tren de tratamiento inicia con la recuperación del agua residual doméstica (cárcamo), de las instalaciones de la DACBiol, posteriormente su carga es dirigida a un tanque de control y preparación (60 L) y se agrega la carga de alimento o comida y la dosis de agroquímicos (agregando 23.4 g de Mancozeb y 39.9 ml de Paraquat, comercial) formando el agua residual reconstituida (ARR), preparando en el SBR la relación de enzima/sustrato ( $DQO= 3502$  mg/L,  $SSVLM= 4000-6000$  mg/L) donde está un TRH de 10.97 h, posteriormente se somete a los sedimentadores con un TRH de 5.14 h, donde por gravedad se separan los flóculos biológicos con mayor tamaño y se concentran en el fondo; por último, se pasa a los tres trenes de tratamiento con los HC, con un TRH de 10.97 h para flujo libre y 5.7 h para subsuperficial, conteniendo dos especies (*S. latifolia* y *P. sagittata*), los cuales al concluir sus dos unidades de HC por tren son dirigidos a su disposición final del agua tratada.

Tabla 2  
Parámetros de operación del reactor SBR.

Parámetro	Valor	Unidad
Q operación	140	L/d
Volumen de operación	60	L
Volumen de lodos	20	L
DQO	3502	mg/L
Tiempo de reacción	8	H
Tiempo de sedimentación	4	H
Tiempo muerto	1	H
Tiempo de llenado	0.5	Min
OD (oxígeno disuelto)	2.4	mg/L
Temperatura	26	°C
pH	6.5-7.5	UpH
SSVLM (microorganismos)	4000-6000	mg/L

#### Caracterización del Agua

La caracterización del agua residual se realizó siguiendo la NOM-001-SEMARNAT-2021, a fin de establecer una línea base de la calidad del afluente y evaluar la eficiencia del sistema SBR-HC. El agua utilizada provino de descargas domésticas de la DACBiol-UJAT, presentando una carga orgánica moderada con sólidos, turbidez y color asociados a materia orgánica disuelta. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos fundamentales para el control del proceso: pH (SM 9040 B, medido con multiparamétrico Hanna HI 98130), temperatura (SM 2550, Hanna HI 98130), conductividad eléctrica (SM 2510 B, Hanna HI 98130), sólidos disueltos totales – SDT (SM 2540 C, Hanna HI 98130), oxígeno disuelto – OD (DO-9100 Dissolved Oxygen Analyzer), potencial de óxido-reducción – POR (SM 4500 H, probador WLR HI9812), color aparente (SM 2120, fotómetro LaMotte TC300we) y turbiedad (SM 2130 B, turbidímetro portátil Hanna).

*Cálculo de eficiencia de remoción*

El cálculo de eficiencia alcanzada en cada etapa del proceso de tratamiento se efectuó mediante la siguiente ecuación (López et al., 2023).

$$\text{Eficiencia (\%)} = [(\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}) / \text{Concentración inicial}] \times 100.$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 3 muestra los valores promedio alcanzados en los tratamientos control (tren 1), siendo el FLC-T1 el que presenta mejor eficiencia en la remoción de DQO con valores de  $76.4 \pm 63.5$ , color  $593.2 \pm 262.2$ , Turbiedad  $10.1 \pm 6.6$ , cumpliendo así con la normativa NOM-001-SEMARNAT-2021 y valores establecidos por LFDDAMAN 2024 y NADF-003-AGUA-2023.

Tabla 3

Concentraciones promedio ( $\pm DE$ ) y su cumplimiento ambiental en el tren 1 ( $N=36$ ).

Parámetro	A-RR		A-SED		FSC-T1		FLC-T1		LMP	Ref.
	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE		
pH (UpH)	7.3	0.6	6.8	2.1	6.8	2.1	7.6	2.1	6 a 9	A
Tem (°C)	21.1	6.4	21.2	6.4	21.0	6.3	21.4	6.5	35.0	A
CE (µs/cm)	474.6	190.6	333.1	108.0	450.0	149.0	449.0	135.7	1000.0	B
SDT (ppm)	232.3	114.8	150.0	139.9	203.0	67.6	203.0	61.4	1000.0	B
Turb (UNT)	178.4	107.8	41.9	20.6	12.3	5.0	10.1	6.6	15	C
Color (UC)	2562.9	1375.7	955.0	449.7	855.0	445.0	593.2	262.2	10	E
OD (mg/L)	3.2	1.4	2.2	0.7	2.3	0.7	2.3	0.7	5.0	B
POR (mV)	-5.5	47.4	1.5	44.9	-	104.0	-	30.1	NA	D
DQO (mg/L)	3308.3	1015.0	255.0	170.0	146.0	55.6	76.4	63.5	150.0	A

NOM-001-SEMARNAT-2021 (A); CECA/1989 (B); NADF-003-AGUA-2002 (C); Gerónimo (2022) POR (+) aerobio, POR (-) anaerobio (D); LFDDAMAN 2024 (E).

La tabla 4 muestra los valores promedio alcanzados en los tratamientos del tren 2, siendo el FLPs-T2 el que presenta mejor eficiencia en la remoción de DQO con valores de  $81.00 \pm 46.2$ , Color  $270.1 \pm 123.8$ , Turbiedad  $10.1 \pm 7.1$ , cumpliendo así con la normativa NOM-001-SEMARNAT-2021 y valores establecidos por LFDDAMAN 2024 y NADF-003-AGUA-2023.

Tabla 4

Concentraciones promedio ( $\pm DE$ ) y su cumplimiento ambiental en el tren 2 ( $N=36$ ).

Parámetro	A-RR		A-SED		FSSI-T2		FLPs-T2		LMP	Ref.
	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE		
pH (UpH)	7.3	0.6	6.8	2.1	11.0	16.92	7.1	1.9	6 a 9	A
Tem (°C)	22.3	6.7	22.3	6.7	22.3	6.74	22.4	6.8	35.0	A
CE (µs/cm)	474.6	190.6	333.1	108.0	500.0	165.68	473.9	144.7	1000.0	B
SDT (ppm)	232.3	114.8	150.0	139.9	227.7	75.40	213.1	65.9	1000.0	B
Turb (UNT)	178.4	107.8	41.9	20.6	24.4	16.93	10.1	7.1	15.0	C
Color (UC)	2562.9	1375.71	955.0	449.7	497.7	283.35	270.1	123.8	10.0	E
OD (mg/L)	3.2	1.4	2.2	0.7	7.9	11.13	2.2	0.7	5.0	B
POR (mV)	-5.5	47.4	1.5	45.0	-156.8	51.26	-107.9	53.7	NA	D
DQO (mg/L)	3308.3	1015.0	256.0	170.0	140.8	60.72	81.0	46.2	150.0	A

NOM-001-SEMARNAT-2021 (A); CECA/1989 (B); NADF-003-AGUA-2023 (C); Gerónimo (2022) POR (+) aerobio, POR (-) anaerobio (D); LFDDAMAN 2024 (E).

La tabla 5 muestra los valores promedio alcanzados en los tratamientos del tren 3, siendo el FLPs-T3 el que presenta mejor eficiencia en la remoción de DQO con valores de  $88.4 \pm 59.1$ , Color  $192.3 \pm 114.6$ , Turbiedad  $4.0 \pm 1.71$ , cumpliendo así con la normativa NOM-001-SEMARNAT-2021 y valores establecidos por LFDDAMAN 2024 y NADF-003-AGUA-2023.

Tabla 5  
Concentraciones promedio ( $\pm DE$ ) y su cumplimiento ambiental en el tren 3 ( $N=36$ ).

Parámetro	A-RR		A-SED		FLSI-T3		FSPs-T3		LMP	Ref.
	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE		
pH (UpH)	7.3	0.6	6.8	2.1	6.4	1.9	7.3	2.0	6 a 9	A
Tem (°C)	13.3	7.1	26.9	3.8	19.9	8.4	21.5	6.6	35.0	A
CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	474.6	190.6	333.1	108.0	496.2	160.6	611.5	209.8	1000.0	B
SDT (ppm)	232.3	114.8	150.00	139.9	201.5	92.5	274.6	94.3	500.0	B
Turb (UNT)	178.4	107.8	41.87	20.6	14.3	6.6	4.0	1.71	15.0	C
Color (UC)	2562.9	1375.7	955.00	449.7	402.3	184.5	192.3	114.6	10.0	E
OD (mg/L)	3.2	1.4	2.23	0.7	8.9	13.2	12.8	20.4	5.0	B
POR (mV)	-5.5	47.4	1.46	45.0	-152.2	72.0	-75.9	36.9	NA	D
DQO (mg/L)	3308.3	1015.0	255.92	170.0	117.9	47.9	88.4	59.1	150.0	A

NOM-001-SEMARNAT-2021 (A); CECA/1989 (B); NADF-003-AGUA-2023 (C); Gerónimo (2022) POR (+) aerobio, POR (-) anaerobio (D); LFDDAMAN 2024 (E).

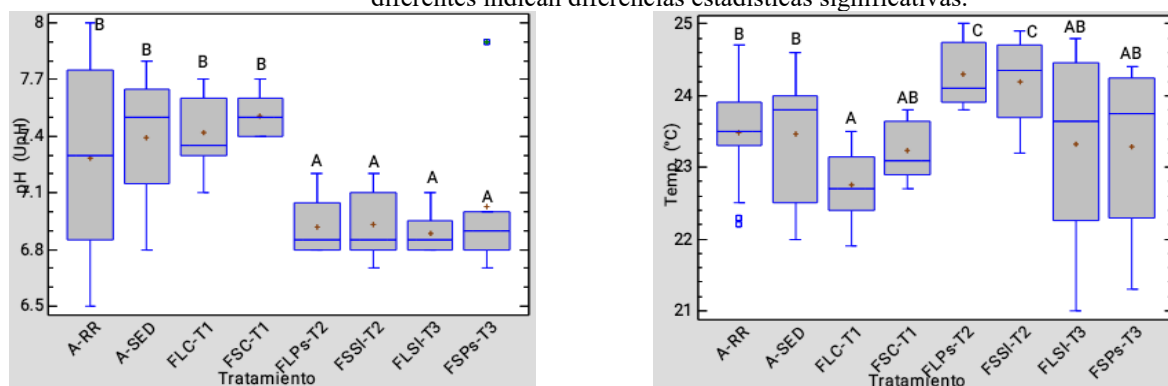
#### Potencial de hidrógeno y temperatura

a prueba de Kruskal-Wallis para pH (UpH) ( $P < 0.05$ ) (Figura 2a), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento FLSI-T3, con  $6.85 \pm (Q_1=6.8, Q_3=7.0)$  (UpH), seguido del tratamiento FSPs-T3  $\pm$  RI con  $6.9 \pm (Q_1=6.71064, Q_3=6.781491)$  (UpH), y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FLC-T1 con  $7.5 \pm (Q_1=7.4, Q_3=7.6)$  (UpH). En la temperatura (°C) (Figura 2b) el tratamiento más bajo se reporta en el FLC-T1 con  $22.75 \pm (Q_1=22.4, Q_3=24.2149)$  °C, seguido de FSC-T1 con  $23.1 \pm (Q_1=22.7106, Q_3=23.7894)$  °C, y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FSSI-T2 con  $24.35 \pm (Q_1=23.2, Q_3=24.9)$  °C.

El pH en los tratamientos presentó valores promedio de 7.3 UpH, cumpliendo con el LMP de descarga señalado por la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece un intervalo de 6 a 9 UpH. Comparando la evaluación de García et al., (2019) en HCFS con especies *P. sagittata* y *S. lancifolia* obtuvo efluentes con intervalo de 7.7 y 8.5 UpH. Referente a la temperatura se presentaron valores por debajo del LMP establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual es de 35.0°C. Dentro de los valores presentados en el tratamiento, se encuentran intervalos de 23.3- 24.8°C. Estos son similares a lo presentado por Sierra y López (2013), que implemento (HCFL) y (HCFS), con especies *Typha dominguensis* y *Thalia geniculata*, el cual alcanzó valores promedio de 28.7 a 30.7 °C lo que favorece el crecimiento de microorganismos mesófilos los cuales se encargan de la degradación de la materia orgánica (Kadlec y Wallace, 2009).

Figura 2

a) Valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para pH (UpH) ( $N=36$ ) y b) valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para la Temperatura (°C) ( $N=36$ ). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



a) Fuente: Creación propia.

b) Fuente: Creación propia.

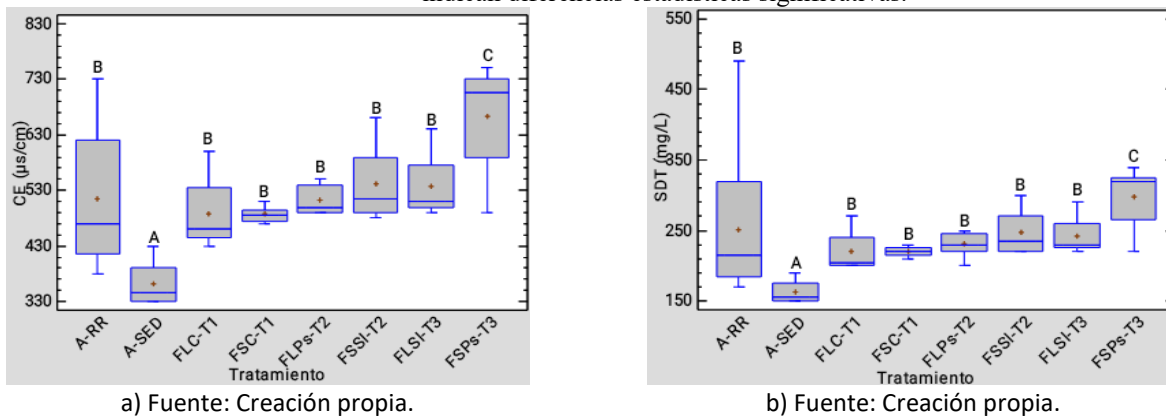
Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

La prueba de Kruskal-Wallis para CE ( $\mu\text{s/cm}$ ) ( $P < 0.05$ ) (Figura 3a), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presentó en el tratamiento A-SED con  $345.0 \pm (Q_1= 33.0, Q_3= 350.0)$   $\mu\text{s/cm}$ , seguido del tratamiento FLC-T1 con  $460.0 \pm (Q_1= 440.0, Q_3= 590.0)$   $\mu\text{s/cm}$  y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FSPS-T3 con  $705.0 \pm (Q_1= 490.0, Q_3= 748.936)$   $\mu\text{s/cm}$ . La prueba de Kruskal-Wallis para SDT (mg/L) ( $P < 0.05$ ) (Figura 3b), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento A-SED con  $155.0 \pm (Q_1= 150.0, Q_3= 160.0)$  mg/L, seguido del tratamiento FLC-T1 con  $205.0 \pm (Q_1= 200.0, Q_3= 270.0)$  mg/L y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FSPS-T3 con  $320.0 \pm (Q_1= 220.0, Q_3= 338.936)$  mg/L.

La CE elevada indica una concentración alta de sales disueltas de tal manera que afectan la calidad del agua y así mismo la fauna acuática (Solís et al., 2018). Los tratamientos FSSI-T1 con  $449.2 \pm 135.7$   $\mu\text{s/cm}$ , FLPs-T2 ( $473.85 \pm 144.66$   $\mu\text{s/cm}$ ) y FSSI-T3 ( $611.54 \pm 209.80$   $\mu\text{s/cm}$ ) son los valores más bajos reportados, lo que permite cumplir con las referencias de CE-CCA-001/89, la cual establece valores de hasta de 1000  $\mu\text{s/cm}$  para su uso en riego agrícola. Javier (2020), en la fase de estabilización utilizando la especie *Cyperus odoratus* presentó valores de 1575.0  $\mu\text{s/cm}$  y 1670.0  $\mu\text{s/cm}$ , en un humedal de flujo subsuperficial. En cuanto a los SDT, los tratamientos de mejor remoción son FSSI-T1 con 203.1 mg/L, FLPs-T2 con 227.69 mg/L y FSSI-T3 con 274.62 mg/L cumpliendo con las especificaciones de CE-CCA-001/89, la cual establece valores de hasta de 500 mg/L, aunque está es un criterio establecido en concentraciones para conservación de vida acuática, puede tomarse de referencia para aguas tratadas en el caso de SDT, cuanto mayor sea la concentración de los SDT mayor será la conductividad.

Figura 3

a) Valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para CE ( $\mu\text{s/cm}$ ) ( $N=36$ ) y b) valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para SDT (mg/L) ( $N=36$ ). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



a) Fuente: Creación propia.

b) Fuente: Creación propia.

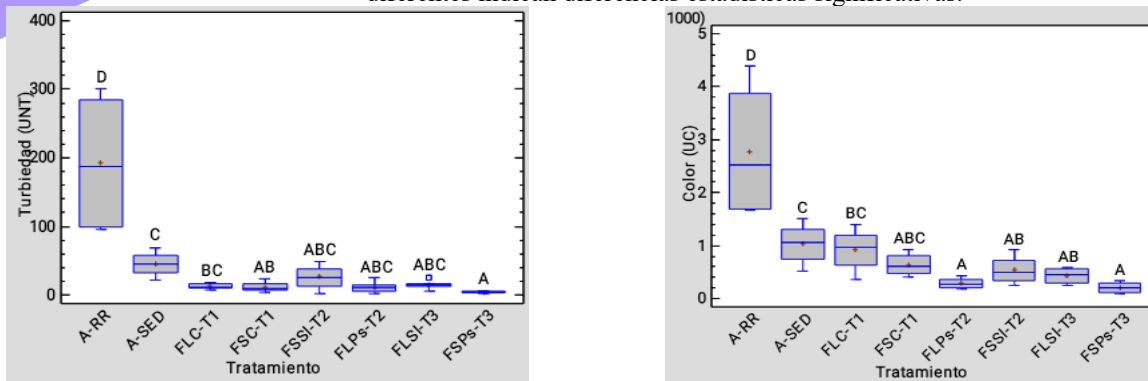
### Turbiedad y Color

La prueba de Kruskal-Wallis para Turbiedad (UNT) ( $P < 0.05$ ) (Figura 4), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento FSPs-T3 con  $5.85 \pm (Q_1= 4.51064, Q_3= 11.4894)$  UNT, seguido del tratamiento FSC-T1 con  $8.55 \pm (Q_1= 5.06164, Q_3= 21.5788)$  UNT, y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el ARR con  $187.7 \pm (Q_1= 102.2, Q_3= 277.2)$  UNT. La prueba de Kruskal-Wallis para Color (UC) ( $P < 0.05$ ) (Figura 4b), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento FSPs-T3 con  $198.5 \pm (Q_1= 95.2127, Q_3= 341.894)$  UC, seguido del tratamiento FLPs-T2 con  $279.5 \pm (Q_1= 180.213, Q_3= 432.681)$  UC, y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el ARR con  $2524.0 \pm (Q_1= 1702.0, Q_3= 3458.0)$  UC.

La turbiedad en los efluentes alcanzó valores de 3.95 a 10.07 UNT, lo que permitió tener eficiencia de remoción de 41.63% a 90.56%. Julca (2019), reporta que la turbiedad es materia en suspensión y coloidal, finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos; son cofactores de incremento de este parámetro fisicoquímico que se asocia con una menor eliminación de patógenos. El color presentó concentraciones de 192.31 UC a 593.2 UC, permitiendo tener una eficiencia de remoción de 37.9% a 79.86%. El color y la turbiedad están relacionados con la presencia de sólidos en suspensión en el agua residual en los HC (García y Corzo, 2008).

Figura 4

a) Valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para Turbiedad (UNT) ( $N=36$ ) y b) valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para Color (UC) ( $N=36$ ). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



a) Fuente: Creación propia.

b) Fuente: Creación propia.

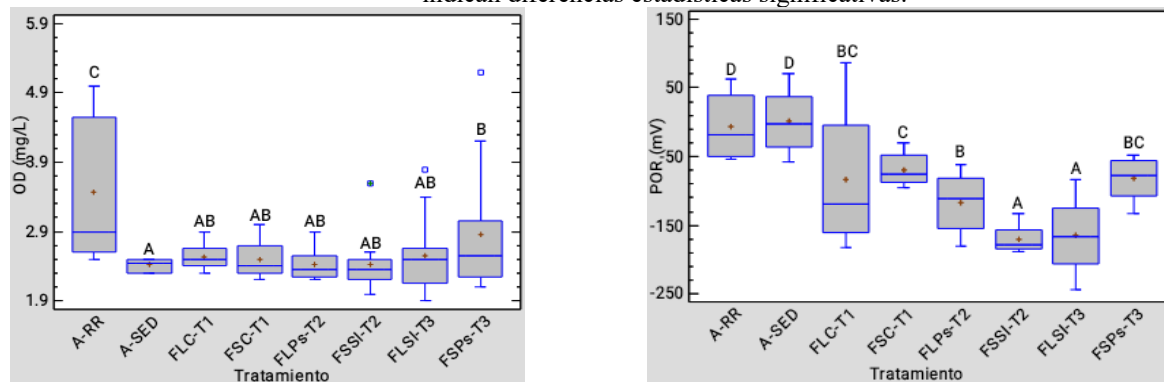
*Oxígeno disuelto y potencial óxido reducción*

La prueba de Kruskal-Wallis para OD (mg/L) ( $P < 0.05$ ) (Figura 5a), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento FLPs-T2 con  $2.35 \pm (Q_1= 2.2, Q_3= 2.78936)$  mg/L, seguido del tratamiento FSSI-T2 con  $2.35 \pm (Q_1= 2.11064, Q_3= 2.58936)$  mg/L, y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FSPs-T3 con  $2.55 \pm (Q_1= 2.11064, Q_3= 4.09364)$  mg/L. La prueba de Kruskal-Wallis para POR (mV) ( $P < 0.05$ ) (Figura 5b), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento A-SED con  $2.0 \pm (Q_1= -16.0, Q_3= 11.0)$  mV, seguido del tratamiento A-RR con  $-18.5 \pm (Q_1= -48.0, Q_3= -16.0)$  mV, y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el FSSI-T2 con  $-177.5 \pm (Q_1= -187.894, Q_3= -137.106)$  mV.

Los niveles de OD tienden a ser más críticos en las épocas estivales (Metcalf & Eddy, 1996). En el caso de los HC la evaluación de la fase de arranque se hizo en junio, presentando una disminución de OD en cada uno de los tratamientos. Se ha demostrado en varios estudios que la presencia de plantas en los HC influye en la concentración de OD, debido a la liberación de oxígeno a través de las raíces hacia la rizósfera (Veloz, 2024), en esta investigación se reportan incrementos de OD de 4 mg/L en el humedal plantado con *P. sagittata*, siendo favorable para la presencia de organismos aerobios y cumple con los lineamientos establecidos por la CE-CCA-001/89, con valores de 5 mg/L. En los tratamientos evaluados, claramente se puede identificar que los tratamientos A-RR, FLPs-T1, FSSI-T1, FLPs-T2, FSSI-T2, FLPs-T3 y FSSI-T3 presentan valores negativos, por lo tanto cuentan con condiciones anaerobias, siendo El A- SED el único con valores positivos, esto se debe a que microorganismos son los encargados de alterar las condiciones del potencial de óxido reducción al ser los principales responsables de llevar a cabo las reacciones de óxido-reducción convirtiendo los contaminantes asimilables para las plantas (CONAGUA, 2015).

Figura 5

a) Valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para OD (mg/L) ( $N=36$ ) y b) valores medianos ( $\pm Q_1, Q_3$ ) para POR (mV) ( $N=36$ ). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



a) Fuente: Creación propia.

b) Fuente: Creación propia.

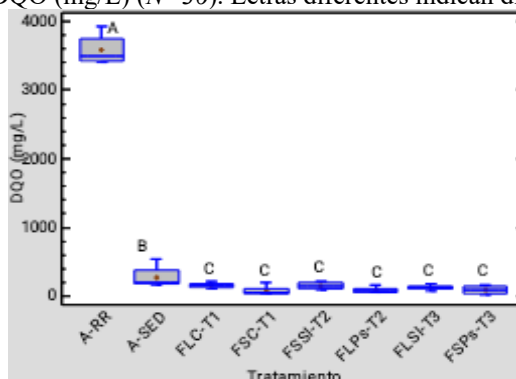
*Demanda química de oxígeno*

La prueba de Kruskal-Wallis para DQO (mg/L) ( $P < 0.05$ ) (Figura 6), muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El valor mediano más bajo se presenta en el tratamiento FSC-T1 con  $53.0 \pm$  ( $Q_1= 41.1064$ ,  $Q_3= 182.936$ ) mg/L, seguido del tratamiento FLPs-T2 con  $70 \pm$  ( $Q_1= 57.2127$ ,  $Q_3= 152.936$ ) mg/L y finalmente el tratamiento con valor mediano más alto se presentó en el A-RR con  $3501.5 \pm$  ( $Q_1= 3423.0$ ,  $Q_3= 3590.0$ ) mg/L.

Según la NOM-001-SEMARNAT-2021 el límite máximo permisible es de 150 mg/L para infiltración y uso público. Los valores de la DQO encontrados en esta investigación muestran resultados de DQO de 76.4 mg/L (60.2% ER DQO), 81.00 mg/L (68.35% ER DQO) y 88.38 mg/L (65.46% ER DQO), en los humedales FSC-T1, FSSI-T2 y FSSI-T3 respectivamente. Estos valores se comportan de manera similar a lo reportado por Cedeño (2020), tratando aguas residuales de la industria atunera en HC aireados utilizando *Chrysopogon zizanioides*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Trichoderma harzianum*, logrando remociones de DQO de hasta 64.56% (164.36 mg/L).

Figura 6

Valores medianos ( $\pm Q_1$ ,  $Q_3$ ) para DQO (mg/L) ( $N=36$ ). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



#### Comportamiento de la especie

En la tabla 6 se muestran las diferencias de las especies y su comportamiento en el periodo experimental. Por lo que en la parte inicial se colocaron cuatro individuos de las especies macrófitas en cada tren de tratamiento. *S. lancifolia*, fue colocada en el FSSI-T3. y *P. sagittata* en el FLPs-T2, en el periodo de estabilización presentaron una diferencia significativa de crecimiento. En la fase final se puede observar que no sobrevivieron a las altas concentraciones de agroquímicos presentes. Para el caso de la especie *S. lancifolia* que fue sembrada en el FSSI-T2, se desarrollaron 18 individuos al final del tratamiento y para la especie *P. sagittata* en el reactor FLPs-T3 se desarrollaron 20 individuos.

*S. lancifolia* colocada en los humedales FSSI-T3 y FSSI-T2 se comportaron diferentes a lo reportado por Gallegos et al., (2018) pues alcanzó una longitud de 1.45 m, aproximadamente. Para el caso de *P. sagittata* sembradas en el FLPs-T2 y FLPs-T3 presentaron una altura de 16.8 cm y 28.3 cm por lo que podemos observar las mismas diferencias en su crecimiento. Romellón (2022) reportó que la especie *P. sagittata* alcanza alturas entre 1.29 m a 1.37 m. En la parte final del tratamiento se trabajó con dos productos químicos comúnmente usados en la industria platanera. El mancozeb es un fungicida de amplio espectro que se usa para prevenir y controlar enfermedades fúngicas y el paraquat un herbicida químico que se utiliza para controlar la maleza, por lo que las altas concentraciones de este producto durante el tratamiento presentaron consecuencias negativas en los primeros humedales FSSI-T3 y FLPs-T2 donde había especies *S. lancifolia* y *P. sagittata* las cuales no lograron sobrevivir ya que contaban con mayor exposición por acumulación en los HC.

Tabla 6

Comportamiento de especies en los trenes de tratamiento ( $N=4$ ). Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	FSSI-T3		FLPs-T2		FLPs-T3		FSSI-T2	
Especie	<i>S. lancifolia</i>		<i>P. Sagittata</i>		<i>P. Sagittata</i>		<i>S. lancifolia</i>	
Etapa	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
No de especie	4	0	4	0	4	20	4	18
Largo raíz (cm)	25.3±9.5	0	33.3±2.1	0	27.7±6.1	119.3±17.9	29.3±8.4	55.0±37.7
Ancho raíz (mm)	1.0±0.0	0	1.0±0.0	0	1.0±0.0	3.7±0.6	1.0±0.0	4.3±3.2
Largo tallo (cm)	38.7±11.8	0	63.7±40	0	51.0±3.0	28.3±9.8	36.4±12.9	16.3±3.2
Ancho tallo (cm)	2.0±1.0	0	2.0±0.0	0	3.0±0.0	2.7±0.6	2.0±0.0	0.8±0.6
Largo/hoja (cm)	19.0±3.6	0	11.0±4.6	0	24.7±4.2	146.7±20.8	7.7±1.5	97.7±12.5
Ancho/hoja (cm)	5.3±1.5	0	9.0±1.7	0	7.0±1.0	1.0±1.0	7.0±2.0	1.0±1.7
No. de hojas	7.7±1.2	0	12.3±2.5	0	7.7±2.1	6.7±0.6	6.3±1.5	11.0±11.4
No. de flores	1.3±1.5	0	0.3±0.6	0	0.7±1.2	4.7±0.6	0.3±0.6	9.3±7.6
Peso/planta (g)	383±317	0	573±145	0	443±248	220±109	243±225	660±520

## CONCLUSIÓN

El tratamiento de efluentes agrícolas a escala experimental presentó buen rendimiento en la remoción de la DQO, en el tratamiento con SBR y sedimentación se removió hasta un 92% de la DQO demostrando ser eficiente, garantizando que el tratamiento pueda generar efluentes que no sean agresivos hacia el ambiente.

La tecnología de humedales construidos con las configuraciones de flujo Libre-Subsuperficial y Subsuperficial-Libre, utilizando las especies macrófitas *Pontederia sagittata* y *Sagittaria lancifolia*, demostraron ser viables en la fitodepuración de aguas residuales de origen agrícola ya que en gran parte la DQO disminuyó con el tratamiento, y los humedales lograron una buena adaptación y estabilización, presentando mejor adaptación la *Pontederia sagittata*. Sin embargo, es importante mencionar que en los primeros humedales FSSI-T3 y FLPs-T2 al recibir una alta carga de químicos agrícolas, no soportaron concentraciones mayores a 3500 mg/L de DQO. A diferencia de los humedales FLPs-T3 y FSSI-T2 que se ubicaron en la segunda sección en serie, bajaron las concentraciones a menos a 100 mg/L de DQO.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, al Laboratorio de Tecnología del Agua de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio), en especial al Dr. Gaspar López Ocaña por el asesoramiento en la planeación y realización de este proyecto “Tratamiento de efluentes industriales en reactores SBR y humedales artificiales en serie, Folio: 20240002”.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cedeño López, D. E., Loureiro Salabarría, J. A., Delgado Demera, M. M., Delgado Villafuerte, C. R., & Fajardo Navarrete, P. C. (2020). Evaluación de un humedal artificial aireado en efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria atunera, Manta, Manabí, Ecuador. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6, 151–164. Recuperado a partir de <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/articulo/view/1933>
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Humedales artificiales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas CE-CCA-001/89. (13 de diciembre de 1989). *Diario Oficial de la Federación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989)
- Díaz Rodríguez, Y., Mendiola Lau, L., González Suárez, A., Navarro Sosa, Y., Acosta Díaz, S., & Chao Reyes, C. (2022). Biofiltración de efluentes líquidos de la industria petrolera con materiales naturales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(1), 12-24. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382022000100012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000100012)
- El Saïdy, N. R., El-Habashi, N., Saïed, M. M., Abdel-Razek, M. A. S., Mohamed, R. A., Abozeid, A. M., El-Midany, S. A., & Abouelenien, F. A. (2020). Wastewater remediation of heavy metals and pesticides using rice straw and/or zeolite as bioadsorbents and assessment of treated wastewater reuse in the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), Artículo 779. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08760-x>
- Gallegos-Rodríguez, J., López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R. G., & Torres-Balcázar, C. A. (2018). Evaluation of free flow constructed wetlands with *Sagittaria latifolia* and *Sagittaria lancifolia* in domestic wastewater treatment. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 10(2), 49–65. <http://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.03.005>
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos: guía práctica de diseño. Construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Universidad Politécnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474>
- García Ocaña, J. A., López-Ocaña, G., & Torres-Balcázar, C. A. (2019). Evaluación de medios de soporte en humedales artificiales con vegetación *Sagittaria latifolia* en la remoción de contaminantes básicos. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 8(15), 1-36. <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i15.82>
- Gerónimo-López, M. A. (2022). *Asclepias curassavica L. y especies de césped en el tratamiento de aguas residuales domesticas via humedales artificiales de flujo subsuperficial* [Tesis de licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco]. Repositorio Institucional UJAT. <https://ri.ujat.mx/items/81d3be27-9d49-4400-b468-e23813199629>
- Iñiguez Iñiguez, C. R., & Rivadeneira Rodríguez, P. E. (2021). *Diseño de una planta piloto de filtros naturales para aguas residuales domésticas* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. Repositorio Uzuay. <https://dSPACE.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11545/1/17077.pdf>
- Javier-Rodríguez, L. M. (2020). *Cyperus odoratus en el tratamiento de agua residual doméstica en un humedal de flujo subsuperficial* [Tesis de licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco]. Repositorio Institucional UJAT. <https://ri.ujat.mx/items/507082d2-4de5-4ba8-a124-c8d7f49a71d8>
- Julca, R. T. L. B. (2019). *Remoción de la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y sulfato de aluminio, Jaén, Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/items/f83f40fa-4da8-426a-9f68-cb89864fcfe7>

- Jacobo-López, A., Esparza-Soto, M., Lucero-Chávez, M., & Fall, C. (2019). Tratamiento de un agua residual industrial a temperatura psicrófila con un reactor UASB. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 905-915. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.10>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2009). *Treatment wetlands* (2.ª ed.). CRC Press.
- Linares, A., Pire-Sierra, M. G., Lameda-Cuicas, E., Molina-Quintero, L., & Pire-Sierra, M. C. (2021). Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en una embotelladora de bebidas no alcohólicas. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1 (8), 89-107. <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/3398>
- López Ramírez, M. Á., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. D. R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales: Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- López Ocaña, G., Estrada Pérez, N., Aguilar Pérez, G., Alonso Mendoza, E. C., & Torres Balcázar, C. A. (2023). Degradación de contaminantes en humedales artificiales en serie con especies macrófitas del trópico húmedo. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 12(24), 1-30. <https://doi.org/10.23913/ciba.v12i24.122>
- Ley Federal de Derechos. (2024). *Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para el ejercicio fiscal 2024*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/915768/Ley\\_Federal\\_de\\_Derechos\\_2024.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/915768/Ley_Federal_de_Derechos_2024.pdf)
- Mazari Hiriart, M., & Noyola Robles, A. (2018). *México, segundo país en utilizar agua residual cruda para el riego*. Fundación UNAM. <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/mexico-segundo-pais-en-utilizar-agua-residual-cruda-para-el-riego/>
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3.ª ed.). McGraw-Hill.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-003-AGUA-2002. (2002). *Establece las condiciones y requisitos para la recarga en el Distrito Federal por inyección directa de agua residual tratada al acuífero*. Secretaría del Medio Ambiente. <https://paot.org.mx/centro/normas/NADF-003-AGUA-2002.pdf>
- NOM-001-SEMARNAT-2021. (11 de marzo de 2022). *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022)
- Romellón-Cerino, M. J., Estrada-Pérez, N., & López-Ocaña, G. (2022). Remoción y cinética de contaminantes básicos en humedales artificiales en serie. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability (REB&S)*, 3(1), 24-34. [https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a3\\_v3n1\\_reb\\_s.pdf](https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a3_v3n1_reb_s.pdf)
- Rosario Mendoza, E. J., Rodríguez Guerrero, V. V., Cellan Palacios, J. J., & Estrella Gómez, F. M. (2022). Acciones educativas de prevención para evitar la contaminación. *Conrado*, 18(88), 158-165. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442022000500158](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442022000500158)
- Saeed, T., Alam, M. K., Miah, M. J., & Majed, N. (2021). Removal of heavy metals in subsurface flow constructed wetlands: Application of effluent recirculation. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100146>
- Sierra Pech, O. M., & López Ocaña, G. (2014). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *Kuxulkab'*, 19(36). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.337>
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/3495/pdf](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3495/pdf)
- Torres Balcázar, C. A., López-Ocaña, G., Romellón-Cerino, M. J., Vázquez González, M. B., & Comparán-Sánchez, L. E. (2020). Biomasa de origen vacuno en la remoción de contaminantes básicos en un reactor discontinuo secuencial. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 9(18), 1-32. <https://doi.org/10.23913/ciba.v9i18.98>
- Veloz Romero, D. P. (2024). *Análisis del rendimiento de los procesos de eliminación del nitrato en los humedales artificiales en la Albufera de Valencia, España* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/210917>
- Verdaguer Domínguez, M. (2024). *Diseño de una estación depuradora SBR, sistema de tratamiento biológico secuencial para la industria de productos cárnicos* [Tesis de grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Repositorio UMH. <https://dspace.umh.es/handle/11000/32929>

# SISTEMA DE DETECCIÓN DE INTRUSOS DE BAJO COSTO PARA ENTORNOS DOMÓTICOS BASADO EN IOT

10.60968/LAET.3594-035X.956

Alberto Alvarado Gala<sup>1</sup>, Anastacio Antolino Hernández<sup>2</sup>, Heberto Ferreira Medina<sup>2</sup>,  
Juan Jesús Ruiz Lagunas<sup>2</sup>, Abel Alberto Pintor Estrada<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Morelia / Maestría en Sistemas Computacionales, [m16121006@morelia.tecnm.mx](mailto:m16121006@morelia.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Morelia / División de Estudios de Posgrado e Investigación, [anastacio.ah](mailto:anastacio.ah), [heberto.fm](mailto:heberto.fm), [juan.rl](mailto:juan.rl), [@morelia.tecnm.mx](mailto:abel.pe) }

**Línea de investigación:** Seguridad Informática / Software

## Resumen

El presente trabajo surge de una pregunta concreta que cualquier usuario de un sistema domótico debería formularse: ¿cómo saber si alguien está intentando acceder a mi red desde el exterior? Para responderla, se diseñó e implementó un sistema de detección de intrusos (IDS) de bajo costo integrado directamente al prototipo domótico, sin requerir hardware adicional ni licencias de software propietario. El prototipo se construyó sobre una Raspberry Pi 4 de 4 GB de RAM, incorporando un sensor de temperatura y humedad DHT11, un módulo relé para el control de dispositivos eléctricos, una cámara web y un servidor web Apache, todo operado sobre Raspberry Pi OS con una base de datos MariaDB para el almacenamiento tanto de datos del entorno como de los eventos de seguridad detectados.

El IDS fue desarrollado como un proceso automático en Python que, en ciclos de diez segundos, analiza las conexiones de red activas y los registros del sistema operativo para identificar dos tipos de comportamiento anómalo: escaneos masivos de puertos desde una misma dirección IP y ataques de fuerza bruta sobre el servicio SSH. Cada evento detectado se registra en la base de datos con fecha y hora, IP de origen, tipo de ataque, puerto de destino, nivel de severidad y acción tomada, generando así un historial consultable desde la interfaz web del sistema domótico.

Para validar el funcionamiento del sistema, se realizaron tres pruebas de penetración controladas desde un equipo Kali Linux en la misma red local, utilizando Nmap (escaneo de puertos), Dirb (enumeración web) e Hydra (fuerza bruta SSH). El IDS detectó y registró correctamente 75 eventos del escaneo Nmap y 18 del ataque Hydra, acumulando 93 eventos de seguridad de severidad alta. El ataque con Dirb no fue detectado, lo que delimitó una limitación concreta del sistema en su versión actual. En cuanto al impacto sobre el rendimiento, el IDS incrementó el consumo de RAM en 277 MB en reposo y elevó el uso de CPU al rango de 3-8% durante los ataques, sin registrar uso de memoria swap en ninguna condición, lo que confirma la viabilidad operativa del prototipo. El costo total del sistema fue de aproximadamente 2,927 pesos mexicanos.

*Palabras clave:* detección de intrusos, domótica, IoT, Raspberry Pi, ciberseguridad.

## Abstract

This work arises from a specific question that any user of a home automation system should ask themselves: how do I know if someone is trying to access my network from the outside? To answer it, a low-cost intrusion detection system (IDS) was designed and implemented directly integrated into the home automation prototype, without requiring additional hardware or proprietary software licenses. The prototype was built on a Raspberry Pi 4 with 4 GB of RAM, incorporating a DHT11 temperature and humidity sensor, a relay module for controlling electrical devices, a webcam and an Apache web server, all operated on Raspberry Pi OS with a MariaDB database for storing both environmental data and detected security events.

IDS was developed as an automatic process in Python that, in ten-second cycles, analyzes active network connections and operating system logs to identify two types of anomalous behavior: massive port scans from the same IP address and attacks from brute force on the SSH service. Each detected event is recorded in the database with date and time, source IP, type of attack, destination port, severity level and action taken, thus generating a history that can be consulted from the web interface of the home automation system.

To validate the operation of the system, three controlled penetration tests were carried out from a Kali Linux computer on the same local network, using Nmap (port scanning), Dirb (web enumeration) and Hydra (brute force SSH). The IDS correctly detected and

recorded 75 Nmap scan events and 18 Hydra attack events, accumulating 93 high severity security events. The attack with Dirb was not detected, which delimited a specific limitation of the system in its current version. In terms of performance impact, the IDS increased RAM consumption by 277 MB at rest and raised CPU usage to the range of 3-8% during attacks, without recording swap memory usage under any conditions, confirming the operational viability of the prototype. The total cost of the system was approximately 2,927 Mexican pesos.

*Keywords: home automation, intrusion detection, IoT, Raspberry Pi, cybersecurity.*

## INTRODUCCIÓN

La adopción de dispositivos IoT en el hogar ha crecido de manera considerable en los últimos años, al punto en que es común encontrar termostatos inteligentes, cámaras de vigilancia, sensores de movimiento y sistemas de control de iluminación conectados a la misma red doméstica que los teléfonos y computadoras personales. Esta conectividad trae consigo ventajas claras en términos de comodidad y automatización, pero también introduce un riesgo que pocas veces se considera en instalaciones de bajo costo: los puertos de red que estos dispositivos exponen constituyen vectores de ataque accesibles para cualquier persona con acceso a la red local, y frecuentemente carecen de los mecanismos de protección que sí están presentes en soluciones comerciales de mayor precio (Sicari et al., 2015).

El problema no es hipotético. Durante el desarrollo del presente trabajo, el propio escaneo de puertos realizado sobre el prototipo reveló que el servicio Jupyter Lab había quedado expuesto en el puerto 8888 sin autenticación robusta, como consecuencia de haberlo instalado durante la fase de desarrollo sin desactivarlo posteriormente. Este hallazgo, que no estaba contemplado en el análisis de riesgos inicial, ilustra con precisión el tipo de vulnerabilidad que puede aparecer en cualquier sistema domótico instalado sin una revisión de seguridad sistemática. La propuesta del presente trabajo busca dar respuesta a esta problemática mediante un IDS que monitorea continuamente la red del sistema domótico, detecta comportamientos anómalos y los registra automáticamente, todo ello sobre el mismo hardware de bajo costo que opera el sistema domótico.

## DESARROLLO

La ciberseguridad en entornos domóticos de bajo costo ha sido señalada en la literatura como un área con carencias importantes. Gómez Castaño et al. (2023) identifican que la mayor parte de las soluciones de detección de intrusos disponibles fueron diseñadas para entornos corporativos, con requerimientos de hardware y conocimientos técnicos que están fuera del alcance del usuario residencial promedio. Esta brecha entre la sofisticación de las herramientas disponibles y la realidad de los sistemas domóticos de consumo es precisamente el espacio que el presente trabajo busca ocupar.

La propuesta se diferencia de trabajos previos en dos aspectos concretos. Primero, el IDS no requiere hardware adicional: corre sobre la misma Raspberry Pi 4 que opera el sistema domótico, lo que elimina el costo de un dispositivo dedicado. Segundo, el sistema fue construido y calibrado específicamente para los patrones de ataque más frecuentes en redes domésticas: escaneo de puertos y fuerza bruta SSH, en lugar de implementar una solución genérica cuya configuración exceda las capacidades del usuario final. Este enfoque es basado en lo señalado por Paniagua Villagomez et al. (2019), quienes destacan la facilidad de configuración y el bajo costo son factores determinantes para la adopción de tecnologías de seguridad en el segmento doméstico.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**Objetivo General:** Diseñar e implementar un sistema intermediario entre los dispositivos inteligentes y la red del hogar que detecte y registre la actividad sospechosa en la red domótica, reportando los eventos al usuario con la finalidad de que pueda conocer y tomar medidas informadas ante posibles intrusiones en el sistema de IoT.

### Objetivos Específicos:

1. Identificar los tipos de ataques más comunes en dispositivos domóticos mediante escaneo y explotación de puertos abiertos.
2. Diseñar e implementar un sistema automatizado que detecte y registre los eventos de seguridad que comprometan la información del sistema.
3. Simular ataques desde una plataforma de pentesting hacia el entorno domótico construido, y evaluar la efectividad del IDS con base en métricas de detección y consumo de recursos.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es un prototipo domótico de bajo costo construido sobre Raspberry Pi 4, que replica las condiciones de un sistema que cualquier usuario podría instalar en su hogar: servidor web Apache exponiendo una interfaz de control, servicio SSH activo para administración remota, sensor DHT11 leyendo temperatura y humedad cada cierto intervalo, módulo relé controlando una carga eléctrica, y cámara web para vigilancia. La elección de este conjunto de componentes responde a que cada uno de ellos introduce servicios de red con puertos expuestos, lo cual es condición necesaria para que el IDS tenga tráfico real que analizar. El sistema fue instalado deliberadamente sin configuraciones de endurecimiento adicionales —sin reglas de firewall restrictivas, sin fail2ban, sin bloqueo de IPs— con la finalidad de exponer el comportamiento de un sistema domótico típico de bajo costo ante ataques reales.

## METODOLOGÍA

La investigación adoptó la metodología de investigación-acción, cuya naturaleza cíclica —planificación, acción, observación y reflexión— resulta adecuada para el desarrollo iterativo de sistemas tecnológicos orientados a resolver problemáticas específicas (Roberto Hernández Sampieri, 2014). Esta metodología permitió realizar ajustes continuos al diseño del prototipo y del IDS en función de los resultados obtenidos en cada ciclo de prueba, garantizando que el sistema final respondiera de manera efectiva a los escenarios de ataque identificados.

El enfoque metodológico se complementó con una investigación cuantitativa para la evaluación de resultados, empleando métricas objetivas de detección (número de eventos registrados, tipo de ataque, tiempo de respuesta) y de rendimiento del sistema (consumo de RAM y CPU en tres condiciones de operación). Las pruebas de penetración se realizaron en un entorno de laboratorio controlado, utilizando herramientas estándar de la industria sobre una red local aislada, sin involucrar tráfico de redes externas ni dispositivos de terceros.

## FASES DEL DESARROLLO

### Fase 1. Investigación y análisis del estado del arte.

Se realizó una revisión bibliográfica de literatura relacionada con domótica, IoT y seguridad cibernética en entornos residenciales, identificando los tipos de ataque más frecuentes reportados en sistemas de bajo costo: escaneos de puertos, ataques de fuerza bruta sobre servicios SSH, enumeración web y explotación de vulnerabilidades en protocolos de comunicación. Esta fase fundamentó la selección de los vectores de ataque a simular en la fase de pruebas.

### Fase 2. Diseño e implementación del prototipo domótico.

Se construyó el prototipo domótico sobre una Raspberry Pi 4 de 4 GB de RAM, integrando los componentes de hardware y software descritos en el objeto de estudio. La instalación incluyó la configuración de Raspberry Pi OS, la instalación y configuración de Apache, MariaDB, Python 3 y las bibliotecas necesarias (Scapy, Flask, Adafruit DHT). El sistema expone deliberadamente los puertos 22 (SSH), 80 (HTTP/Apache) y 8888 (Jupyter Lab) para replicar las condiciones de un sistema domótico real instalado sin endurecimiento de seguridad específico.

### Fase 3. Desarrollo e implementación del IDS.

El IDS fue desarrollado como un script en Python que opera como proceso en segundo plano. El módulo de captura utiliza la biblioteca Scapy para analizar el tráfico de red en tiempo real, mientras que la lógica de detección identifica patrones anómalos: más de cinco conexiones en un intervalo de diez segundos desde una misma IP a puertos distintos se clasifica como escaneo de puertos; múltiples intentos fallidos de autenticación SSH en el mismo intervalo se clasifican como ataque de fuerza bruta. Cada evento detectado genera un registro en la tabla eventos\_seguridad de MariaDB, almacenando fecha/hora, IP de origen, tipo de ataque, puerto destino, severidad y acción tomada.

### Fase 4. Pruebas de penetración y evaluación.

Se ejecutaron tres pruebas de penetración controladas desde un equipo Kali Linux en la misma red local. La Prueba 1 consistió en un escaneo de puertos con Nmap (-sS -sV) dirigido a la IP de la Raspberry Pi. La Prueba 2 realizó una enumeración de directorios web con Dirb sobre el servidor Apache. La Prueba 3 ejecutó un ataque de fuerza bruta SSH con Hydra utilizando un diccionario de contraseñas. Durante cada prueba se monitoreó en tiempo real la base de datos del IDS y se registraron los recursos del sistema mediante los comandos top y free -m en tres condiciones de operación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta el resumen comparativo de las tres pruebas de penetración realizadas sobre el prototipo domótico, indicando la herramienta utilizada, el tipo de ataque ejecutado, el resultado de detección por parte del IDS y el número de eventos registrados en la base de datos.

**Tabla 1.** Resumen comparativo de pruebas de penetración sobre el prototipo domótico.

Prueba	Herramienta	Tipo de ataque	Detectado por IDS	Eventos en BD
1	Nmap	Escaneo de puertos	Sí	75
2	Dirb	Enumeración web HTTP	No	0

3	Hydra	Fuerza bruta SSH	Sí	18
---	-------	------------------	----	----

*Nota. BD = base de datos MariaDB. Pruebas realizadas en entorno de laboratorio local.*

El IDS detectó y registró correctamente dos de los tres ataques ejecutados, acumulando 93 eventos de seguridad de severidad alta. El escaneo Nmap generó 75 eventos entre las 13:10:33 y las 13:22:58, y el ataque de fuerza bruta Hydra produjo 18 eventos entre las 13:11:13 y las 17:29:22. El ataque de enumeración web con Dirb no fue detectado, lo que evidencia una limitación del sistema en su versión actual: la ausencia de un módulo de análisis de tráfico HTTP. Este hallazgo delimita con precisión el alcance del IDS y constituye la principal línea de trabajo futuro.

Adicionalmente, el escaneo de puertos reveló la presencia de Jupyter Lab expuesto en el puerto 8888 sin mecanismos de autenticación robusta, una vulnerabilidad no contemplada inicialmente en el análisis de riesgos. Este hallazgo subraya la importancia de realizar auditorías periódicas de los servicios activos en sistemas domóticos, dado que servicios de desarrollo pueden quedar expuestos involuntariamente durante las fases de implementación.

La Tabla 2 presenta las métricas de rendimiento de la Raspberry Pi 4 en las tres condiciones de operación evaluadas, obtenidas mediante el comando `free -m` y las capturas del comando `top`.

**Tabla 2.** Métricas de rendimiento de la Raspberry Pi 4 con y sin IDS activo.

Métrica	Sin IDS	Con IDS (reposo)	Con IDS (ataque)
RAM usada ( <code>free -m</code> )	531 MB	808 MB	776 MB
RAM disponible	3,260 MB	2,983 MB	3,015 MB
RAM proceso IDS ( <code>python3</code> )	N/A	18.4 MB	18.4 MB
Uso de swap	0 MB	0 MB	0 MB
CPU total del sistema	~1 %	~1 %	3–8 %
Incremento RAM vs. sin IDS	—	+277 MB (+52 %)	+245 MB (+46 %)

*Nota. CPU medido con `top`; RAM con `free -m`. Swap en 0 MB en todas las condiciones.*

Los datos de la Tabla 2 permiten afirmar que el impacto del IDS sobre el sistema domótico es real pero manejable. El incremento de 277 MB en el uso de RAM al activar el IDS en reposo se explica principalmente por el caché de disco que el kernel Linux asigna al proceso de monitoreo de paquetes, dado que el propio proceso `python3` del IDS ocupa únicamente 18.4 MB de memoria residente. Que el uso de swap se haya mantenido en cero en las tres condiciones —incluida la del ataque activo— es el dato más relevante desde el punto de vista operativo, ya que la activación del swap indicaría presión real sobre los recursos del sistema y podría degradar el tiempo de respuesta de los servicios domóticos. En ningún momento se llegó a ese punto, lo que confirma que la Raspberry Pi 4 tiene margen suficiente para ejecutar simultáneamente el servidor web, la base de datos, el servicio SSH y el IDS.

**Figura 1. Código fuente principal del IDS (ids\_monitor.py).**

```
import time, subprocess, re, pymysql
from datetime import datetime

DB_CONFIG = {"host": "localhost", "user": "idsuser",
             "password": "", "database": "sensores"}
INTERVALO = 10 # ciclo de monitoreo en segundos
UMBRAL_PUERTOS = 5 # puertos distintos = escaneo
IP_WHITELIST = {"127.0.0.1", "192.168.1.1", "192.168.1.15"}

def registrar_evento(conn, ip, tipo, desc,
                    puerto=None, cnx=None, sev="MEDIA"):
    sql = "INSERT INTO eventos_seguridad
          (fecha_hora, ip_origen, tipo_ataque, descripcion,
           puerto_destino, conexiones, severidad, accion_tomada)
          VALUES (NOW(), %s, %s, %s, %s, %s, %s, 'REGISTRADO')"
    with conn.cursor() as cur:
        cur.execute(sql, (ip, tipo, desc, puerto, cnx, sev))

def detectar_escaneo_puertos(conn):
    r = subprocess.run(["ss", "-tn"],
                      capture_output=True, text=True, timeout=5)
    pips = {}
    pat = re.compile(r"(\d+\.\d+\.\d+\.\d+):(\d+)\s*$")
    for l in r.stdout.splitlines():
        p = l.split()
        m = pat.search(p[4]) if len(p) >= 5 else None
        if m and m.group(1) not in IP_WHITELIST:
            pips.setdefault(m.group(1), set()).add(int(m.group(2)))
    for ip, pts in pips.items():
        if len(pts) >= UMBRAL_PUERTOS:
            registrar_evento(conn, ip, "ESCANEEO_PUERTOS",
                            f"{len(pts)} puertos desde {ip}",
                            cnx=len(pts), sev="ALTA")

def detectar_intentos_ssh(conn):
    r = subprocess.run(["sudo", "journalctl", "-u", "ssh",
                      "--no-pager", "-n", "200"],
                      capture_output=True, text=True, timeout=5)
    cnt = {}
    pat = re.compile(r"from (\d+\.\d+\.\d+\.\d+)")
    for l in r.stdout.splitlines():
        if "Failed password" in l:
            m = pat.search(l)
            if m and m.group(1) not in IP_WHITELIST:
                cnt[m.group(1)] = cnt.get(m.group(1), 0) + 1
    for ip, n in cnt.items():
        if n >= 10:
            registrar_evento(conn, ip, "FUERZA_BRUTA_SSH",
                            f"{n} intentos fallidos desde {ip}",
                            puerto=22, cnx=n, sev="ALTA")

def main():
    conn = pymysql.connect(**DB_CONFIG, autocommit=True)
    while True:
        detectar_escaneo_puertos(conn)
        detectar_intentos_ssh(conn)
        time.sleep(INTERVALO)
```

El código de la Figura 1 muestra la estructura completa del IDS. La función registrar\_evento() inserta cada incidente en la tabla eventos\_seguridad de MariaDB con todos sus atributos en una sola operación. La función detectar\_escaneo\_puertos() invoca ss -tn para obtener las conexiones TCP activas, agrupa los puertos por IP de origen y genera una alerta cuando una IP aparece conectada a cinco o

más puertos distintos en el mismo ciclo de diez segundos. La función `detectar_intentos_ssh()` consulta los últimos 200 registros del log de SSH mediante `journalctl` y registra un evento de tipo `FUERZA_BRUTA_SSH` cuando una IP acumula diez o más intentos fallidos. El bucle en `main()` ejecuta ambas funciones cada diez segundos, garantizando una latencia máxima de detección de diez segundos desde el inicio del ataque.

## CONCLUSIÓN

El trabajo demostró que es posible agregar un componente de seguridad funcional a un sistema domótico de bajo costo sin requerir hardware adicional ni comprometer el rendimiento de la plataforma. El IDS implementado detectó y registró correctamente dos de los tres tipos de ataque ejecutados, acumulando 93 eventos de seguridad verificables en la base de datos, lo que valida el funcionamiento del sistema en condiciones de prueba reales. La no detección del ataque de enumeración web no es un fracaso del sistema sino una delimitación precisa de su alcance actual, la cual define la principal línea de trabajo futuro: la incorporación de un módulo de análisis de tráfico HTTP capaz de identificar patrones de enumeración web por volumen de peticiones o frecuencia de respuestas 404.

El hallazgo inesperado del puerto 8888 expuesto es, en cierta medida, el resultado más valioso del proceso: evidencia que el propio flujo de validación del IDS tiene utilidad diagnóstica más allá de la detección en tiempo real, y que auditorías periódicas de los servicios activos deben formar parte del ciclo de seguridad de cualquier sistema domótico, independientemente de si se cuenta con un IDS o no. La propuesta queda abierta a iteraciones futuras que incorporen bloqueo automático de IPs, análisis de tráfico HTTP y mecanismos de alerta en tiempo real, todas ellas identificadas durante el desarrollo como extensiones naturales del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Gómez Castaño, J. C.; Castaño Pérez, N. J.; Correa Ortiz, L. C. (2023). Sistemas de detección y prevención de intrusos: Una taxonomía experimental basada en código abierto orientada a la industria 4.0. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 33(1). Recuperado de <https://doi.org/10.18359/rcin.6534>
- Greig, J. (2017). The Raspberry Pi: A technology disrupter, and the enabler of dreams. *Electronics*, 6(3), 51. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/electronics6030051>
- Kali Docs. Kali Docs. (2025). Kali Linux documentation. <https://www.kali.org/docs/>
- MariaDB Foundation. (2026). MariaDB documentation. <https://mariadb.org/documentation/>
- Nayyar, A.; Puri, V.; Le, D.-N. (2015). Raspberry Pi: A small, powerful, cost effective and efficient form factor computer. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(12), 720-737.
- Paniagua Villagomez, C. G.; García García, J.; Contreras Hernández, S. (2019). Diseño de un sistema domótico de bajo costo para la automatización del hogar. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 7(Especial). Recuperado de <https://doi.org/10.29057/icbi.v7iEspecial.4553>
- Python Software Foundation. (2025). Python 3 documentation. <https://docs.python.org/3/>
- Raspberry Pi Foundation. (2026). Raspberry Pi Imager. <https://www.raspberrypi.com/software/>
- Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2014). Metodología de la investigación. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Severance, C. (2013). Eben Upton: Raspberry Pi. *IEEE Computer*, 46(10), 14-16. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/MC.2013.349>
- Sicari, S.; Rizzardi, A.; Grieco, L. A.; Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks*, 76, 146-164. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.11.008>

# SISTEMA EÓLICO DE BAJA POTENCIA PARA ILUMINACIÓN Y SEGURIDAD EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO.

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.959

Hugo David Lozano Rodríguez<sup>1</sup>, Hugo Francisco Abundis Fong<sup>2</sup>, Octavio Hernández Gutiérrez<sup>3</sup>,  
Teresa Yadira Frías Martínez<sup>4</sup>, Antonio Rodríguez Cruz<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, e-mail: [hugodavid.lozano@utt.edu.mx](mailto:hugodavid.lozano@utt.edu.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Pachuca, e-mail: [hugo.af@pachuca.tecnm.mx](mailto:hugo.af@pachuca.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, e-mail: [octavio.hernandez@utt.edu.mx](mailto:octavio.hernandez@utt.edu.mx)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, e-mail: [mecatronica@utt.edu.mx](mailto:mecatronica@utt.edu.mx)

<sup>5</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Pachuca, e-mail: [antonio.rc@pachuca.tecnm.mx](mailto:antonio.rc@pachuca.tecnm.mx)

## Línea de investigación: Ingeniería

### Resumen

La sustentabilidad y la eficiencia energética representan retos importantes para las instituciones de educación superior, especialmente en espacios donde existen necesidades de iluminación y seguridad. En la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji se identificaron áreas con baja iluminación, lo que motivó el diseño de una propuesta técnica basada en energía eólica de baja potencia para alimentar luminarias LED y una cámara de videovigilancia. El objetivo de este trabajo fue diseñar un sistema eólico de baja potencia orientado al suministro energético de cargas específicas dentro del campus universitario, integrando criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y aplicación educativa. La metodología empleada fue de tipo descriptiva y aplicada, organizada en el análisis de necesidades energéticas, estimación de consumo eléctrico, selección de componentes, definición del banco de almacenamiento y propuesta de protecciones eléctricas. Como resultado, se determinó una demanda instalada de 70 W y un consumo energético diario estimado de 840 Wh/día, correspondiente a tres luminarias LED de 20 W y una cámara de videovigilancia de 10 W. La propuesta considera el uso de un aerogenerador de baja potencia, banco de baterías, controlador de carga, estructura de soporte y dispositivos de protección. El sistema propuesto contribuye a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, mejorar las condiciones de seguridad en el campus y fortalecer la formación práctica de los estudiantes mediante la aplicación de tecnologías renovables en un contexto real.

*Palabras clave: energía eólica, eficiencia energética, sustentabilidad, campus universitario, iluminación.*

### Abstract

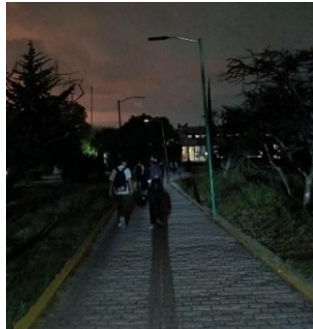
Sustainability and energy efficiency represent important challenges for higher education institutions, especially in areas where lighting and security needs are present. At the Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, several poorly illuminated areas were identified, which motivated the design of a technical proposal based on a low-power wind energy system to supply LED lighting and a video surveillance camera. The objective of this study was to design a low-power wind system aimed at supplying energy to specific loads within the university campus, integrating sustainability, energy efficiency, and educational application criteria. The methodology used was descriptive and applied, organized into the analysis of energy needs, estimation of electrical consumption, selection of components, definition of the storage bank, and proposal of electrical protection devices. As a result, an installed load of 70 W and an estimated daily energy consumption of 840 Wh/day were determined, corresponding to three 20 W LED luminaires and one 10 W video surveillance camera. The proposal considers the use of a low-power wind turbine, battery bank, charge controller, support structure, and protection devices. The proposed system contributes to reducing dependence on the conventional electrical grid, improving campus security conditions, and strengthening students' practical training through the application of renewable technologies in a real context.

*Keywords: wind energy, energy efficiency, sustainability, university campus, lighting.*

## INTRODUCCIÓN

La incorporación de energías renovables y el uso eficiente de la energía representan estrategias prioritarias para las instituciones de educación superior, debido a su capacidad para reducir el consumo eléctrico convencional, promover la sustentabilidad y fortalecer la formación práctica de los estudiantes. En este sentido, las universidades no solo cumplen una función académica, sino que también pueden convertirse en espacios de aplicación tecnológica donde se desarrollen soluciones energéticas orientadas a resolver problemáticas reales de su entorno. (Almasri et al., 2024; Faria et al., 2022)

Dentro de los campus universitarios, la iluminación de espacios comunes, accesos, andadores y zonas de tránsito constituye un factor importante para la seguridad de la comunidad estudiantil y del personal académico como se muestra en la Figura 1. En la Universidad Tecnológica de Tula–Tepeji se identificaron áreas con baja iluminación, lo que representa una oportunidad para proponer alternativas energéticas sustentables que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de seguridad, sin incrementar significativamente la dependencia de la red eléctrica convencional. (Pardo-Bosch et al., 2022)



**Figura 1.** Zona de baja Iluminación dentro de la UTTT.

**Fuente:** Elaboración propia.

Ante esta necesidad, estudiantes de la licenciatura en Ingeniería Mecatrónica desarrollaron una propuesta técnica basada en un sistema eólico de baja potencia, orientado al suministro de energía para luminarias LED y una cámara de videovigilancia. Esta propuesta integra criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y aplicación educativa, ya que permite vincular el aprendizaje de tecnologías renovables con una problemática real del campus universitario.

El uso de un sistema eólico de baja potencia resulta pertinente para alimentar cargas específicas de bajo consumo, principalmente cuando se combina con un banco de almacenamiento y dispositivos de protección eléctrica. Además, este tipo de soluciones puede funcionar como herramienta didáctica para el análisis de generación, almacenamiento y consumo de energía en condiciones reales.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es diseñar una propuesta técnica de un sistema eólico de baja potencia para el suministro energético de luminarias LED y una cámara de videovigilancia en zonas con baja iluminación del campus universitario, destacando su contribución a la sustentabilidad, la eficiencia energética, la seguridad institucional y la formación práctica de los estudiantes.

Un sistema eólico de baja potencia generalmente está integrado por un aerogenerador, un controlador de carga, un banco de baterías, dispositivos de protección eléctrica, cableado y cargas de consumo. El aerogenerador convierte la energía del viento en energía eléctrica; el controlador de carga regula el flujo de energía hacia el banco de almacenamiento; las baterías permiten disponer de energía durante periodos de baja velocidad del viento o durante la noche; y las protecciones eléctricas contribuyen a la operación segura del sistema. Esta configuración resulta adecuada para proyectos de generación distribuida de pequeña escala, donde se busca atender necesidades energéticas puntuales sin depender completamente de la red eléctrica convencional (Faria et al., 2022).

La eficiencia energética consiste en aprovechar la energía de manera responsable, realizando una actividad con el menor consumo posible sin disminuir la calidad del servicio. En el caso de la iluminación exterior, el uso de luminarias LED representa una alternativa eficiente, ya que permite reducir el consumo eléctrico frente a tecnologías tradicionales de mayor demanda. Además, cuando este tipo de cargas se alimenta mediante sistemas renovables de baja potencia, se promueve el uso local de la energía y se fortalece la autonomía energética de espacios específicos, como andadores, accesos o zonas comunes dentro de una institución (Pardo-Bosch et al., 2022).

En los campus universitarios, estos sistemas renovables no solo ofrecen una solución técnica para mejorar la iluminación y la seguridad, sino que también pueden convertirse en espacios de aprendizaje práctico. Su diseño e implementación permite que los estudiantes comprendan de forma aplicada temas como generación eléctrica, almacenamiento de energía, consumo energético, protecciones eléctricas, eficiencia energética y sustentabilidad. Por ello, el sistema propuesto atiende una necesidad real del entorno universitario y,

al mismo tiempo, funciona como un recurso didáctico para fortalecer la formación de estudiantes en áreas de ingeniería y energías renovables (Almasri et al., 2024; Faria et al., 2022).

## DESARROLLO

La sustentabilidad energética implica hacer un uso responsable y eficiente de los recursos energéticos, dando prioridad a las fuentes renovables y a las estrategias que contribuyen a reducir el impacto ambiental asociado al consumo eléctrico convencional. En el caso de las instituciones de educación superior, este enfoque no solo representa una oportunidad para disminuir el consumo y los costos de energía, sino también para fortalecer la formación de los estudiantes mediante experiencias prácticas. De esta manera, los alumnos pueden relacionarse con el diseño, análisis e implementación de tecnologías limpias aplicadas a necesidades reales de su entorno (Almasri et al., 2024).

Dentro de las alternativas renovables, la energía eólica destaca por aprovechar el movimiento del viento para generar electricidad. Este proceso comienza cuando la energía cinética del viento se transforma en energía mecánica mediante las aspas del aerogenerador y, posteriormente, en energía eléctrica a través del generador. Su aplicación se ha extendido en diferentes escalas debido a que utiliza un recurso natural disponible y no requiere combustibles fósiles durante su operación.

En sistemas de baja potencia, la energía eólica puede emplearse para alimentar cargas específicas como luminarias, sensores, equipos de monitoreo, sistemas de comunicación o cámaras de videovigilancia. Por ello, representa una opción pertinente para espacios universitarios, especialmente cuando se busca atender necesidades puntuales de iluminación, seguridad y demostración tecnológica con fines educativos (Bianchini et al., 2022).



**Figura 2.** Diagrama de bloques del Sistema propuesto.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar una propuesta de sistema eólico de baja potencia que permita suministrar energía eléctrica a luminarias LED y a una cámara de videovigilancia en zonas del campus universitario con baja iluminación. La propuesta busca contribuir al aprovechamiento de energías renovables, mejorar la seguridad institucional, fomentar la eficiencia energética y fortalecer la formación práctica de los estudiantes mediante una aplicación tecnológica real.

### Objetivos específicos

Identificar las zonas del campus universitario que presentan necesidades de iluminación y seguridad, con el propósito de reconocer los espacios donde el sistema eólico pueda tener mayor impacto.

Estimar el consumo eléctrico requerido por las cargas propuestas, considerando el funcionamiento de luminarias LED y una cámara de videovigilancia.

Seleccionar los principales componentes del sistema eólico de baja potencia, tales como aerogenerador, banco de baterías, controlador de carga, estructura de soporte, cableado y protecciones eléctricas.

Proponer una configuración técnica del sistema que permita alimentar las cargas seleccionadas de manera eficiente, segura y sustentable, además de servir como recurso didáctico para la formación práctica de los estudiantes.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio del presente trabajo es un sistema eólico de baja potencia diseñado para suministrar energía eléctrica a cargas específicas dentro de un campus universitario. Este sistema se orienta principalmente a atender necesidades de iluminación y seguridad en espacios con baja visibilidad, mediante el aprovechamiento de una fuente renovable de energía.

La importancia de dirigir el estudio hacia este sistema radica en que permite atender una necesidad real de iluminación y seguridad, al mismo tiempo que promueve el uso de energías renovables en espacios educativos. Además, su diseño representa una oportunidad para fortalecer el aprendizaje aplicado de los estudiantes mediante la relación entre generación eléctrica, almacenamiento, eficiencia energética y operación segura de sistemas eléctricos de baja potencia (Almasri et al., 2024; Faria et al., 2022).

## *METODOLOGÍA*

El desarrollo del proyecto se realizó mediante una metodología descriptiva y aplicada, enfocada en el diseño de una propuesta técnica de sistema eólico de baja potencia para su posible implementación en el campus de la Universidad Tecnológica de Tula–Tepeji. Este enfoque metodológico resulta adecuado para el propósito del estudio, ya que permite reconocer una necesidad institucional concreta y, a partir de ella, plantear una alternativa tecnológica viable dentro de un contexto educativo.

Desde el enfoque descriptivo, fue posible identificar la problemática relacionada con la baja iluminación en determinadas zonas del campus, así como definir las cargas eléctricas necesarias para atender esta situación, principalmente luminarias LED y una cámara de videovigilancia. Esta etapa permitió comprender con mayor claridad las condiciones del entorno y las necesidades energéticas asociadas al proyecto.

Por otra parte, el enfoque aplicado permitió orientar el trabajo hacia una solución práctica basada en el aprovechamiento de la energía eólica de baja potencia. Para ello, se consideraron criterios de sustentabilidad, eficiencia energética, almacenamiento de energía y seguridad eléctrica, con el fin de proponer un sistema funcional, seguro y pertinente para el entorno universitario.

El procedimiento general se organizó en fases consecutivas: diagnóstico de la necesidad, estimación de las cargas eléctricas, selección de componentes, dimensionamiento preliminar del sistema, propuesta de integración eléctrica y análisis de los resultados esperados. La selección del aerogenerador se sustentó en información técnica del modelo Air Breeze, el cual se considera adecuado para aplicaciones autónomas de baja potencia en sistemas de 12 V (Southwest Windpower, s. f.; Sunair, s. f.).

## *FASES DEL DESARROLLO*

### **Fase 1. Diagnóstico de la necesidad**

Se identificaron áreas del campus universitario con baja iluminación, principalmente en zonas de tránsito, accesos o espacios comunes. Esta condición representa una oportunidad para mejorar la seguridad de la comunidad universitaria mediante una solución energética sustentable.

Durante esta fase se consideró la necesidad de alimentar luminarias LED para mejorar la visibilidad nocturna, así como una cámara de videovigilancia para fortalecer el monitoreo de seguridad en el área seleccionada. El uso de sistemas eficientes de iluminación en espacios públicos o institucionales puede contribuir tanto al ahorro energético como a la mejora de las condiciones de seguridad (Pardo-Bosch et al., 2022).

### **Fase 2. Estimación de cargas eléctricas**

Se establecieron las cargas principales del sistema: tres luminarias LED de 20 W cada una y una cámara de videovigilancia de 10 W. Con base en estos datos, se determinó una potencia instalada total de 70 W.

Para estimar el consumo energético diario, se consideró un tiempo de operación de 10 h para las luminarias LED y de 24 h para la cámara de videovigilancia. El consumo energético diario total estimado fue de 840 Wh/día, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Consumo energético del Sistema.

Dispositivo	Potencia unitaria	Cantidad	Potencia total	Horas de uso diario	Energía diaria
Luminaria LED	20 W	3	60 W	10 h	600 Wh
Cámara de vigilancia	10 W	1	10 W	24 h	240 Wh
Total, del sistema	—	4	70 W	—	840 Wh/día

**Fuente:** Elaboración propia.

### Fase 3. Selección de componentes

A partir de la demanda energética estimada, se propuso la integración de un aerogenerador de baja potencia, banco de baterías, controlador de carga, luminarias LED, cámara de videovigilancia, torre o estructura de soporte, cableado eléctrico y dispositivos de protección.

La selección de componentes se orientó a garantizar el suministro energético de cargas de bajo consumo, considerando la operación autónoma del sistema durante periodos de baja velocidad del viento o ausencia de generación. La literatura sobre tecnología eólica de pequeña escala señala que estos sistemas requieren considerar adecuadamente el recurso disponible, el sitio de instalación, las cargas conectadas y las condiciones de operación para estimar su desempeño energético (Bianchini et al., 2022).

**Tabla 2.** Materiales para la Instalación del Sistema eólico.

Material o componente	Especificación técnica	Cantidad	Función en el sistema
Aerogenerador	Modelo Air Breeze, 12 V, 200 W	1 pieza	Generar energía eléctrica a partir del viento
Encoder	Encoder rotativo incremental de 1024 P/R	1 pieza	Medir posición, velocidad, aceleración y dirección
Batería de ciclo profundo	12 V, 1600 Ah	2 piezas	Almacenar energía eléctrica
Luminaria LED	20 W, alta eficiencia energética	3 piezas	Iluminar las áreas seleccionadas
Cámara de vigilancia	12 V CC, bajo consumo	1 pieza	Monitoreo de seguridad
Torre o estructura metálica	Altura de 9.1 m	1 pieza	Soporte del aerogenerador
Cableado eléctrico	Cobre, calibre 14	Según distancia	Conexión entre componentes
Interruptores de protección	Según especificación técnica	3 piezas	Protección de generación, almacenamiento y consumo

**Fuente:** Elaboración propia.

### Fase 4. Dimensionamiento preliminar del almacenamiento

El banco de baterías se consideró como elemento fundamental para asegurar el suministro eléctrico durante periodos de baja velocidad del viento o en ausencia de generación. La capacidad de almacenamiento propuesta permite conservar la energía generada por el aerogenerador y alimentar las cargas conectadas durante la operación nocturna o en condiciones de recurso eólico variable.

No obstante, al tratarse de una propuesta técnica, se recomienda que en una etapa posterior se realice un dimensionamiento económico y energético más detallado, considerando autonomía requerida, profundidad de descarga, eficiencia del controlador, pérdidas eléctricas y condiciones reales del recurso eólico. Esta consideración coincide con la necesidad de evaluar cuidadosamente el almacenamiento en sistemas renovables autónomos, ya que una capacidad elevada puede incrementar la autonomía, pero también aumentar el costo, el espacio requerido y la necesidad de mantenimiento del sistema (Kafando et al., 2024).

## Fase 5. Integración del sistema y protecciones eléctricas

La propuesta técnica considera la integración del aerogenerador con el controlador de carga, el banco de baterías y las cargas de consumo. El controlador de carga tiene la función de regular el flujo de energía entre el aerogenerador, las baterías y los dispositivos conectados, evitando sobrecargas, descargas profundas y posibles daños en los componentes.

Asimismo, se consideran dispositivos de protección eléctrica para el aerogenerador, banco de baterías, inversor y cargas conectadas. Estas protecciones tienen la finalidad de prevenir daños por sobrecorrientes, cortocircuitos, inversión de polaridad o condiciones anormales de operación. La selección final de los valores nominales de corriente y tensión debe realizarse con base en la ficha técnica de cada componente, la capacidad del banco de baterías, la potencia del inversor y las especificaciones técnicas del aerogenerador Air Breeze (Southwest Windpower, s. f.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del diseño, se obtuvo una propuesta de sistema eólico de baja potencia orientada al suministro energético de tres luminarias LED y una cámara de videovigilancia en zonas específicas del campus universitario. A partir de la estimación realizada, se determinó una demanda instalada de 70 W y un consumo energético diario aproximado de 840 Wh/día.

Los valores obtenidos permiten considerar pertinente el uso de un sistema renovable de baja potencia, debido a que las cargas seleccionadas tienen un consumo moderado y responden a una necesidad concreta dentro del campus: mejorar la iluminación y fortalecer la seguridad en zonas específicas. En este sentido, el empleo de luminarias LED resulta favorable, ya que contribuye a disminuir la demanda eléctrica y mejora la eficiencia energética del sistema, aspecto relevante en proyectos de iluminación eficiente para espacios públicos e institucionales (Pardo-Bosch et al., 2022).

Además de su función energética, la propuesta tiene un valor educativo importante. La incorporación de sistemas renovables de baja potencia en instituciones de educación superior permite acercar a los estudiantes a problemáticas reales de infraestructura y vincularlas con soluciones tecnológicas aplicadas. De esta manera, el sistema eólico propuesto no solo busca cubrir una demanda de energía, sino también convertirse en un recurso didáctico mediante el cual los estudiantes puedan comprender, de forma práctica, temas relacionados con generación eléctrica, almacenamiento de energía, eficiencia energética, protecciones eléctricas y sustentabilidad. Este planteamiento se relaciona con la necesidad de integrar energías renovables, eficiencia energética y formación sustentable dentro de los entornos universitarios (Almasri et al., 2024; Faria et al., 2022).

No obstante, el funcionamiento real del sistema dependerá de las condiciones técnicas y ambientales del sitio. Entre los factores más importantes se encuentran la disponibilidad del recurso eólico, la adecuada selección del banco de baterías, la eficiencia del controlador de carga, las pérdidas en el cableado y el comportamiento de los dispositivos de conversión y protección. Por ello, en una etapa posterior será necesario realizar mediciones de velocidad del viento, estimar la energía que podría generarse, analizar la autonomía del sistema de almacenamiento y evaluar experimentalmente el desempeño del sistema bajo condiciones reales de operación. Esta etapa resulta indispensable, ya que los sistemas eólicos de pequeña escala requieren una valoración técnica del sitio para estimar con mayor precisión su capacidad de generación y su viabilidad energética (Bianchini et al., 2022; Kafando et al., 2024).

## CONCLUSIÓN

La propuesta de un sistema eólico de baja potencia para iluminación y seguridad en un campus universitario permitió plantear una alternativa sustentable para atender cargas específicas de bajo consumo. A partir del análisis realizado, se estimó una demanda instalada de 70 W y un consumo energético diario de 840 Wh/día, correspondientes al funcionamiento de tres luminarias LED y una cámara de videovigilancia.

El diseño propuesto considera la integración de los elementos principales del sistema, entre ellos un aerogenerador de baja potencia, banco de almacenamiento, controlador de carga, estructura de soporte, cableado y dispositivos de protección eléctrica. Con ello, se busca atender una necesidad institucional relacionada con la iluminación de espacios comunes y el fortalecimiento de la seguridad dentro del campus universitario.

Además de su aporte técnico, el proyecto tiene un valor formativo importante, ya que permite vincular a los estudiantes con una aplicación real de las energías renovables. A través de esta propuesta, es posible relacionar conocimientos sobre generación eléctrica, eficiencia energética, almacenamiento de energía y seguridad en sistemas eléctricos, favoreciendo un aprendizaje práctico y contextualizado.

Como trabajo futuro, se recomienda implementar el sistema y evaluar su comportamiento en condiciones reales de operación. Para ello, será necesario realizar mediciones del recurso eólico, estimar la energía generada, analizar la autonomía del banco de baterías y verificar el desempeño de las cargas instaladas. Esta orientación se alinea con la incorporación de tecnologías renovables en instituciones educativas, donde la eficiencia energética, la generación distribuida y el aprendizaje aplicado pueden contribuir al fortalecimiento de una cultura de sustentabilidad aplicada (Almasri et al., 2024; Faria et al., 2022).

## BIBLIOGRAFÍA

- Almasri, R. A.; Abu-Hamdeh, N. H.; Al-Tamimi, N. (2024). A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1344216. Recuperado de <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1344216>
- Bianchini, A.; Bangga, G.; Baring-Gould, I.; Croce, A.; Cruz, J. I.; Damiani, R.; Erfort, G.; Simao Ferreira, C.; Infield, D.; Nayeri, C. N.; Pechlivanoglou, G.; Runacres, M.; Schepers, G.; Summerville, B.; Wood, D.; Orrell, A. (2022). Current status and grand challenges for small wind turbine technology. *Wind Energy Science*, 7(5), 2003–2037. Recuperado de <https://doi.org/10.5194/wes-7-2003-2022>
- Faria, A.; Alvarenga, B.; Lemos, G.; Viajante, G.; Domingos, J. L.; Marra, E. (2022). Energy efficiency and distributed generation: A case study applied in public institutions of higher education. *Energies*, 15(3), 1217. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/en15031217>
- Kafando, J. G.; Yamagueu, D.; Houdji, E. T. (2024). Review on sizing and management of stand-alone PV/WIND systems with storage. *Heliyon*, 10(18), e38080. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38080>
- Pardo-Bosch, F.; Blanco, A.; Sesé, E.; Ezcurra, F.; Pujadas, P. (2022). Sustainable strategy for the implementation of energy efficient smart public lighting in urban areas: Case study in San Sebastian. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103454. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103454>
- Southwest Windpower. (s. f.). *Air Breeze: ficha técnica*. Recuperado de <https://technosun.com/descargas/AIR-BREEZE-ficha-ES.pdf>
- Sunair. (s. f.). *Air Breeze Marine: generador eólico*. Recuperado de <https://www.sunair.com.ar/division-energias-alternativas-airbreeze-marine.html>

# PLATAFORMA MOODLE STEAM PARA APRENDIZAJE INTERACTIVO

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.960

Octavio Hernández Gutiérrez<sup>1</sup>, Hugo David Lozano Rodríguez<sup>2</sup>, Cristian Adair Domínguez Martínez<sup>3</sup>, Hazael Felipe Gudiño Meza<sup>4</sup>, Ariana Citlally Arciniega de Jesús<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, [octavio.hernandez@uttt.edu.mx](mailto:octavio.hernandez@uttt.edu.mx)

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, [hugodavid.lozano@uttt.edu.mx](mailto:hugodavid.lozano@uttt.edu.mx)

<sup>3</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, [24300718@uttt.edu.mx](mailto:24300718@uttt.edu.mx)

<sup>4</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, [24300707@uttt.edu.mx](mailto:24300707@uttt.edu.mx)

<sup>5</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, [24300620@uttt.edu.mx](mailto:24300620@uttt.edu.mx)

## Línea de investigación: Ingeniería

### Resumen

En este artículo se presenta el diseño e implementación inicial de una plataforma educativa desarrollada sobre Moodle, la cual fue orientada al fortalecimiento de competencias STEAM a través de recursos interactivos, simulaciones matemáticas y prácticas de programación. Este proyecto nace ante la necesidad de ofrecer un entorno más intuitivo para el usuario con simulaciones que faciliten la comprensión de conceptos a través de la práctica en un espacio seguro. Además de la gestión de contenidos, tareas y evaluaciones, la plataforma fomenta la participación activa del estudiante al integrar herramientas que favorecen la exploración, la experimentación y la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos.

La plataforma fue desarrollada siguiendo un proceso de prototipo tecnológico, dividido en fases progresivas. En el primer avance, configuramos un entorno local de prueba empleando XAMPP, Apache, PHP e instalamos Moodle para su ejecución local e identificar sus funciones hasta que fuera necesario su migración a un servidor Linux. Durante este periodo se realizaron modificaciones en las rutas del sistema, la configuración de la base de datos, el diseño del directorio de almacenamiento y la puesta en marcha de las extensiones PHP necesarias, lo que garantizó un desarrollo inicial con la base funcional del proyecto enmarcada.

Luego, fue incluido GNU Octave como un medio de cálculo simbólico. Se comenzó a implementar JupyterLab para desarrollar laboratorios interactivos usando Python. El primer recurso educativo fue un navegador interactivo de funciones cuadráticas utilizando JupyterLab, Numpy, Matplotlib e ipywidgets. Este laboratorio permite modificar los coeficientes de una función cuadrática mediante barras deslizantes, generar automáticamente su gráfica, calcular el vértice y analizar la concavidad de la parábola de forma visual e instantánea.

De acuerdo con los primeros datos, la integración de Moodle con las herramientas de simulación y programación parece fomentar un aprendizaje más activo, visual y práctico. Por tanto, la aplicación propuesta resulta una opción adecuada para fortalecer cursos online o mixtos de matemáticas, ingeniería y tecnología. Asimismo, proporciona una infraestructura tecnológica que permite el desarrollo de nuevos laboratorios virtuales, añadir elementos interactivos de programación e imaginar sus servicios en la red.

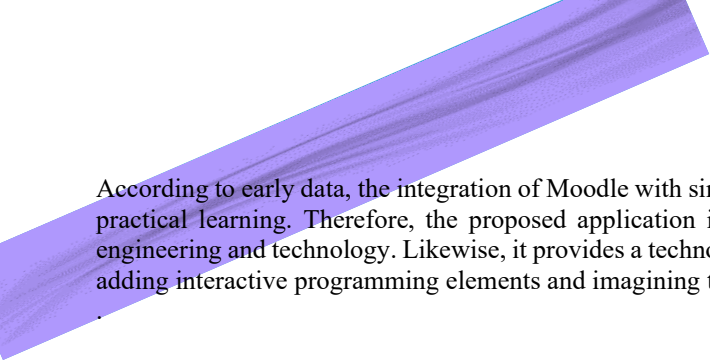
*Palabras clave: Aprendizaje interactivo, JupyterLab, Moodle, simulación matemática, STEAM.*

### Abstract

This article presents the design and initial implementation of an educational platform developed on Moodle, which was aimed at strengthening STEAM competencies through interactive resources, mathematical simulations and programming practices. This project was born out of the need to offer a more intuitive environment for the user with simulations that facilitate the understanding of concepts through practice in a safe space. In addition to the management of content, tasks and evaluations, the platform encourages active student participation by integrating tools that promote exploration, experimentation and practical application of the knowledge acquired.

The platform was developed following a technological prototype process, divided into progressive phases. In the first advance, we configured a local test environment using XAMPP, Apache, PHP and installed Moodle for local execution and identifying its functions until its migration to a Linux server was necessary. During this period, modifications were made to the system paths, database configuration, storage directory design, and implementation of the necessary PHP extensions, ensuring initial development with the project's functional foundation framed.

Later, GNU Octave was included as a means of symbolic calculation. JupyterLab began to be implemented to develop interactive laboratories using Python. The first educational resource was an interactive quadratic function browser using JupyterLab, Numpy, Matplotlib, and ipywidgets. This laboratory allows you to modify the coefficients of a quadratic function using sliding bars, automatically generate its graph, calculate the vertex and analyze the concavity of the parabola visually and instantly.



According to early data, the integration of Moodle with simulation and programming tools appears to encourage more active, visual and practical learning. Therefore, the proposed application is a suitable option to strengthen online or mixed courses in mathematics, engineering and technology. Likewise, it provides a technological infrastructure that allows the development of new virtual laboratories, adding interactive programming elements and imagining their services on the network.

*Keywords: Interactive learning, JupyterLab, mathematical simulation, Moodle, STEAM.*

## INTRODUCCIÓN

El uso de plataformas educativas digitales se ha vuelto una necesidad para las instituciones que buscan ampliar su cobertura, flexibilizar los procesos de enseñanza y promover el aprendizaje autónomo de los estudiantes. Sin embargo, en muchos casos, los entornos virtuales de aprendizaje se utilizan principalmente como espacios para subir archivos, entregar tareas, aplicar evaluaciones o mantener comunicación entre docentes y alumnos. Aunque estas funciones son importantes, limitan el verdadero potencial pedagógico de las plataformas, especialmente en áreas como matemáticas, ingeniería, programación y tecnología, donde el aprendizaje requiere observar, experimentar, modificar variables, analizar resultados y comprobar procedimientos.

La plataforma Moodle es una solución ampliamente empleada para la administración de cursos, identificación de usuarios, presentación de actividades, rendición de notas y almacenamiento de materiales digitales. Según Gamage et al. (2022), esta tecnología se destaca como una herramienta significativa en campos STEAM, por su habilidad para estructurar contenido, promover colaboración entre docentes y estudiantes y soportar las pruebas virtuales en entornos digitales. Aunque puede aprovechar aún más su potencial educativo al combinarlo con recursos de simulación matemática, herramientas de programación interactiva y modelos dinámicos para presentar contenido.

Este proyecto pone de manifiesto la presentación de una propuesta de Moodle completamente adaptada a las necesidades de STEAM, definidas como medios digitales que combinan ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, mediante ejercicios prácticos, visuales e interactivos. Esto permite experiencias educativas más integrales, en las cuales el estudiante no solo interpreta información, sino también evalúa, diseña, realiza pruebas y propone soluciones a problemas concretos (Perales & Aróstegui, 2024). De otro lado, los investigadores han advertido que las opciones STEAM promueven la participación activa y el método de aprendizaje basado en proyectos, así como el uso adecuado de materiales educativos (Amanova et al., 2025).

Esta temática del trabajo concierne a la necesidad de crear espacios virtuales más activos y empáticos, donde el estudiantado abandone el papel de simplemente consumidor de información y se haga responsable de su propio desarrollo educativo. En materia académica basada en conceptos matemáticos y tecnológicos, solo mostrar formulas, conceptos o procedimientos de forma estática no alcanza; lo importante es que el alumno pueda investigar la dinámica de modelos, modificar parámetros, interpretar gráficos y comprobar el resultado. En este sentido, las salas virtuales son una herramienta útil para impulsar experiencias experimentales de estudio en ingeniería y campos afines, puesto que permiten predecir situaciones, aplicar procedimientos y evaluar el producto final sin contar solamente con un espacio físico en laboratorio (Balamuralithara y Woods, 2009; Li y Liang, 2024).

Por esta razón, se sugiere la implementación de Moodle en combinación con GNU Octave y JupyterLab como una forma de incrementar la enseñanza utilizando simulaciones, experimentos virtuales y ejercicios de programación. Jupyter Notebook y JupyterLab son utilizados como entornos interactivos que permiten crear flujos de trabajo de cálculo reproducible, al incluir código, texto, resultados y representaciones gráficas en el mismo documento digital (Kluyver et al., 2016). De igual manera, herramientas como IPython han contribuido al desarrollo de la computación científica interactiva, al facilitar la ejecución de código, la exploración de datos y la creación de recursos educativos programables (Pérez & Granger, 2007).

El desarrollo de la plataforma se realizó inicialmente en un entorno local mediante XAMPP, el cual permitió ejecutar Apache, PHP y MariaDB para instalar y validar el funcionamiento de Moodle antes de considerar su migración a un servidor de producción. Esta etapa fue importante porque permitió realizar pruebas de instalación, configuración y compatibilidad en un ambiente controlado. Durante el proceso se identificaron diversos aspectos técnicos relacionados con las versiones de PHP, las extensiones requeridas, las rutas de instalación y el acceso al servidor local, los cuales fueron atendidos mediante ajustes progresivos.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: desarrollo de la propuesta, objetivos, tema de estudio, metodología, etapas de implementación, hallazgos y discusión, conclusión y bibliografía. Incluye imágenes que ilustran el paso por el que ha atravesado la instalación, configuración y puesta en marcha de los elementos interactivos, para documentar los avances técnicos de la plataforma y exhibir su capacidad como entorno educativo para clases virtuales o mixtas de ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas y más áreas (STEAM).

## DESARROLLO

La propuesta denominada Moodle STEAM Interactivo abarca el desarrollo de un entorno educativo donde la administración académica, la simulación matemática y la programación interactiva comparten espacio. No sólo se centra en almacenar cursos o realizar tareas, sino que pretende ofrecer un lugar en línea en el cual los alumnos consulten contenidos, realicen tareas, ejecuten simulaciones, modifiquen parámetros e interpreten resultados de manera dinámica. Esto se alinea con la actitud actual de emplear plataformas de gestión del aprendizaje no únicamente como depósitos de información, sino como entornos digitales que apoyan interactividad, evaluación y supervisión del aprendizaje (Gamage et al., 2022).

Por estar vinculado al ámbito educativo, el enfoque STEAM integra conocimientos acerca de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas mediante la aplicación de actividades orientadas a solucionar problemas. En este proyecto, ese enfoque se manifiesta a través del uso de laboratorios virtuales y recursos interactivos que permiten al estudiante trabajar con modelos matemáticos e interpretar los resultados en forma visual. Pereles y Aróstegui (2024) ponen en evidencia que el enfoque STEAM posee importantes implicaciones pedagógicas, que ayudan a la fusión de la sabiduría y facilitan las experiencias formativas que son más adecuadas para resolver los problemas reales. Está fundamental en las asignaturas en las que el consenso gira sobre el análisis gráfico y matemático de las funciones, datos o situaciones físicas.

En términos tecnológicos, Moodle constituye el núcleo de la plataforma, pues permite estructurar los cursos, los usuarios, las actividades, los desafíos, las evaluaciones y los recursos educativos. Este núcleo se complementa con el uso de GNU Octave para la creación de simulaciones matemáticas y del JupyterLab para actividades de programación interactiva. Esto aumenta el alcance pedagógico de Moodle debido a que permite pasar del aprendizaje tradicional basado en lectura, cuestionarios o envío de archivos a una experiencia orientada a la experimentación computacional.

De manera similar, los laboratorios virtuales y remotos constituyen instrumentos importantes en la educación en ingeniería. Permean el estudio de fenómenos e interacciones, la realización de pruebas por simbología, análisis de los resultados obtenidos y amplían las competencias prácticas del estudiante sin necesidad de dependencia total de un laboratorio físico. Por ello, la fusión de Moodle con herramientas como GNU Octave o JupyterLab puede reforzar el aprendizaje basado en el trabajo colaborativo, mejorar la comprensión teórica y desarrollar habilidades técnicas en áreas STEAM (Auer et al., 2003; Balamuralithara & Woods, 2009).

Inicialmente, el proceso de desarrollo consistió en la instalación local del sistema. Se empleó XAMPP, pues ofrecía las capacidades mínimas requeridas para ejecutar Moodle, tales como Apache como servidor web, PHP como lenguaje de compilación y MariaDB como administrador de bases de datos. La configuración anterior permitió verificar si Moodle estaba operando correctamente antes de pensar en migrarlo a un servidor de red Linux.

Como se observa en la Figura 1, el panel de control de XAMPP permitió verificar el estado de los servicios de Apache y MariaDB. Esta evidencia es importante porque confirma que el entorno local cuenta con los servicios mínimos para ejecutar Moodle durante la fase de pruebas.

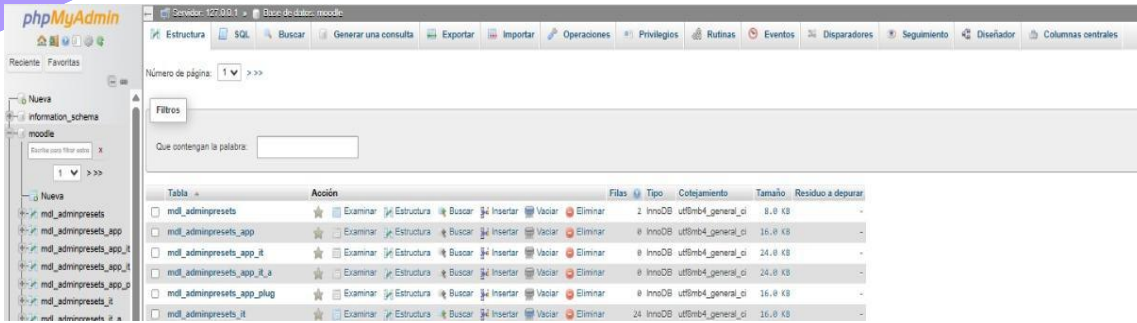


**Figura 1. PANEL DE CONTROL DE XAMPP CON SERVICIOS ACTIVOS**

Nota. La figura muestra la activación de los servicios locales necesarios para ejecutar Moodle.

Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

Una vez activos los servicios, se procedió a configurar Moodle dentro del directorio correspondiente de XAMPP. Este proceso incluyó la creación de carpetas, la configuración de rutas principales, la generación del directorio moodledata y la creación de la base de datos. Como se observa en la Figura 2, el gestor de base de datos permitió verificar la existencia de las tablas asociadas al sistema Moodle.



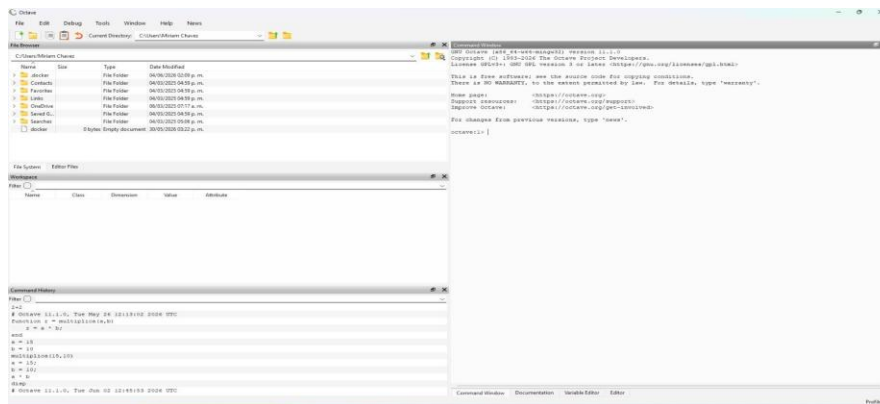
**Figura 2. BASE DE DATOS DE MOODLE EN PHPMYADMIN**

Nota. La figura muestra la estructura inicial de la base de datos utilizada para almacenar información de usuarios, cursos, actividades y recursos.

Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

Durante el proceso de instalación se presentaron errores de compatibilidad relacionados con extensiones de PHP. Entre las extensiones revisadas se encontraron mysqli, mbstring, zip, gd, intl, soap y Sodium. La solución de estos problemas permitió comprender la importancia de verificar previamente los requisitos técnicos de Moodle y documentar cada ajuste realizado en el archivo php.ini.

De manera complementaria, se instaló GNU Octave para realizar simulaciones matemáticas. Esta herramienta permite ejecutar cálculos numéricos, representar funciones y apoyar el desarrollo de recursos orientados al análisis matemático. Como se observa en la Figura 3, GNU Octave se utilizó para comprobar la ejecución básica de operaciones y comandos, dejando preparada la herramienta para futuras integraciones.

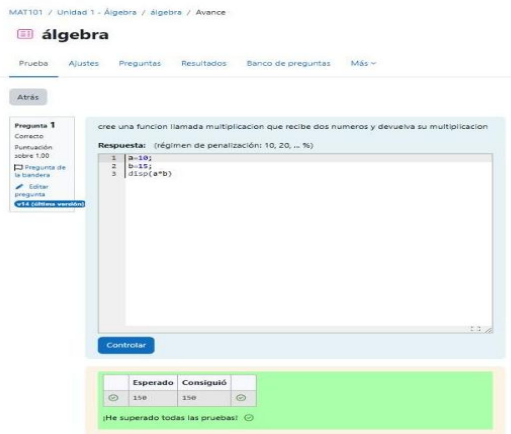


**Figura 3. ENTORNO DE GNU OCTAVE PARA SIMULACIÓN MATEMÁTICA**

Nota. La figura muestra la interfaz de GNU Octave utilizada para realizar pruebas iniciales de cálculo y simulación.

Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

Además, se inició el desarrollo de recursos interactivos mediante JupyterLab. Esta herramienta permite construir laboratorios con Python, integrando bibliotecas como NumPy para cálculo numérico, Matplotlib para visualización de datos e ipywidgets para controles interactivos. NumPy constituye una biblioteca central para la programación científica en Python, al permitir el manejo eficiente de arreglos y operaciones numéricas (Harris et al., 2020). Por su parte, Matplotlib proporciona un entorno de visualización bidimensional ampliamente utilizado para representar datos y funciones en aplicaciones científicas y educativas (Hunter, 2007). La Figura 4 muestra una prueba inicial del entorno de JupyterLab, donde se ejecutan celdas de código y se validan recursos de programación.



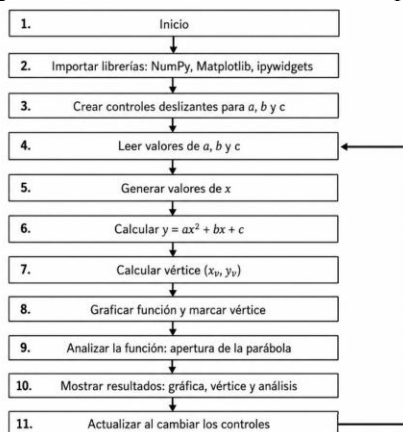
**Figura 4. PRUEBA INICIAL DE RECURSO EN JUPYTERLAB**

Nota. La figura muestra la ejecución de código en un entorno interactivo para el desarrollo de laboratorios virtuales. Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

El primer recurso desarrollado fue un explorador interactivo de funciones cuadráticas. Este laboratorio permite modificar los coeficientes de una función de la forma:

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

A partir de los valores seleccionados, el sistema genera la gráfica, calcula el vértice y determina si la parábola abre hacia arriba o hacia abajo. Como se observa en la Figura 5, el código incluye controles deslizantes para los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$ , así como instrucciones para graficar la función y mostrar la información relevante. La construcción de este tipo de recursos es congruente con el uso de Jupyter como formato para flujos de trabajo computacionales reproducibles, donde el código, la explicación y los resultados pueden integrarse en un mismo ambiente de aprendizaje (Kluyver et al., 2016).

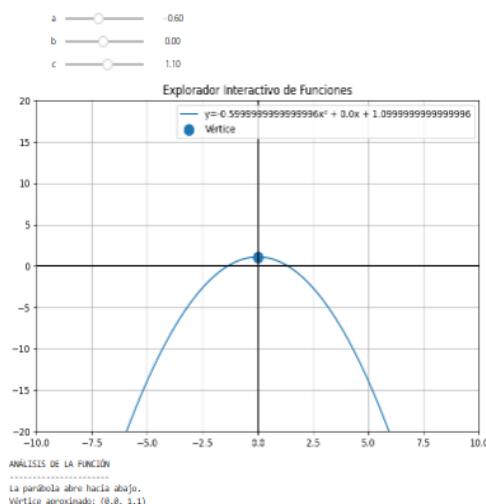


**Figura 5. CÓDIGO DEL EXPLORADOR INTERACTIVO DE FUNCIONES CUADRÁTICAS**

Nota. La figura muestra la estructura del recurso desarrollado en JupyterLab mediante Python, NumPy, Matplotlib e ipywidgets.

Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

El resultado gráfico del recurso se muestra en la Figura 6, donde se observa la parábola generada a partir de los valores seleccionados por el usuario. Esta evidencia muestra el potencial de los recursos interactivos para apoyar el aprendizaje visual de conceptos matemáticos. En este sentido, los laboratorios virtuales pueden favorecer el aprendizaje al permitir la manipulación de variables y la observación inmediata de resultados, lo cual fortalece la relación entre teoría, simulación y análisis (Li & Liang, 2024).



**Figura 6. EXPLORADOR INTERACTIVO DE FUNCIONES CUADRÁTICAS**

Nota. La figura muestra la gráfica generada por el laboratorio interactivo, así como los controles para modificar los coeficientes de la función.

Fuente: Elaboración propia con base en capturas del desarrollo del proyecto.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Configurar un entorno local de desarrollo mediante XAMPP, Apache, PHP y MariaDB, para validar la instalación y operación inicial de Moodle.
2. Integrar herramientas de simulación matemática y programación interactiva, como GNU Octave y JupyterLab, para ampliar las posibilidades didácticas de la plataforma.
3. Diseñar un recurso interactivo de funciones cuadráticas mediante Python, NumPy, Matplotlib e ipywidgets, para favorecer la visualización y análisis de modelos matemáticos.
4. Documentar las fases de instalación, configuración, solución de errores y desarrollo de recursos, para establecer una base técnica que permita la futura migración de la plataforma a un servidor Linux.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de este trabajo es una plataforma educativa Moodle orientada al aprendizaje STEAM interactivo. Esta plataforma se concibe como un entorno digital capaz de integrar cursos, actividades, simulaciones matemáticas y laboratorios virtuales, con el propósito de promover un aprendizaje más activo, visual y participativo en estudiantes de áreas tecnológicas.

La investigación examina el proceso de desarrollo, instalación, configuración e integración de herramientas digitales diseñadas para asistir a las funciones de Moodle en su función principal: ser una plataforma de gestión central del aprendizaje y combinarla con GNU Octave y JupyterLab para crear recursos interactivos. La elección de Moodle se realiza en virtud de su presencia en experiencias educativas STEM y de su eficacia en la organización de contenido, promoviendo el diálogo entre enseñantes y alumnos y facilitando la evaluación en contextos educativos digitales (Gamage et al., 2022).

El estudio tiene relevancia debido a la necesidad de transformar las plataformas educativas en lugares más dinámicos, activos e innovadores. Las asignaturas en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM) exigen más de lo simple en consultas de material u oraciones de ejercicios; requieren verificación de fenómenos, modificación de variables, verificación de resultados, lectura de gráficos y formación de teorías basadas en la observación de lo realizado.

En este caso, la plataforma Moodle mejorada con simuladores y laboratorios virtuales puede ayudar a mejorar la comprensión de conceptos y las habilidades ante procedimientos de los estudiantes. Esto concuerda con los principios del enfoque STEAM, que respaldan el intercambio de saberes, el uso de conocimientos prácticos y el desarrollo de actividades interdisciplinarias que combinan ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas (Amanova et al., 2025; Perales & Aróstegui, 2024).

## *METODOLOGÍA*

Llevamos a cabo la investigación mediante una metodología centrada en el desarrollo de tecnología utilizando el prototipado como herramienta. El motivo de elegir esta metodología es la posibilidad de crear la primera versión funcional del sistema. Posteriormente, realizamos pruebas, identificamos las deficiencias, e incorporamos cambios de manera escalonada. En proyectos de integración tecnológica es especialmente oportuno, pues no implica contar con todos los elementos claramente definidos al comienzo; sino que permite avanzar mediante recorridos de probación, modificaciones y certificación.

El trabajo estuvo dividido en dos capítulos principales. El primero corresponde a un entorno local instaurado en una PC, con el fin de establecer y revisar cada componente previamente a transferir la plataforma a una red en vivo. Esto permitía verificar la operatividad de XAMPP, Apache, PHP, MariaDB, Moodle y GNU Octave. Además, facilita descubrir incongruencias de compatible, de configuración y de interacción con herramientas, lo que permitía hacer ajustes técnicos con control y registrar aspectos pertinentes para su posterior implementación.

En la segunda etapa, realizamos la migración al servidor Linux de la plataforma original. Esto permitirá que la infraestructura esté disponible en línea, pudiendo utilizarse por alumnos y docentes en un entorno educativo de realidad académica. Aunque la parte previa aún no está completa, ya que representa un paso futuro dentro del proyecto, la instalación local ofrece una configuración técnica sólida a partir de la cual implementaremos el sistema en entornos de producción futuros.

La metodología se dividió en seis fases: selección de aplicaciones, instalación de entorno local, configuración de Moodle, resolución de problemas de compatibilidad, integración de aplicaciones matemáticas y desarrollo de recursos interactivos. Cada una de las fases dio lugar a una serie de evidencias técnicas, como capturas del panel XAMPP, configuración de base de datos, configuración del entorno GNU Octave, código en JupyterLab y resultado gráfico del laboratorio interactivo.

La integración de los laboratorios virtuales en el método educativo está justificada por su contribución significativa al acondicionamiento del entorno práctico educativo. Balamuralithara y Woods (2009) distinguieron entre los laboratorios de simulación y los laboratorios remotos como recursos que apoyan la formación práctica; mientras que Li y Liang (2024) observaron que los laboratorios virtuales podían beneficiar la enseñanza de la ingeniería al ser bien concebidos, desarrollados y empleados con fines específicos.

## *FASES DEL DESARROLLO*

### **Fase 1. Selección de herramientas tecnológicas**

En la primera fase se analizaron las herramientas necesarias para construir la plataforma. Moodle fue seleccionado como entorno principal debido a su capacidad para gestionar cursos, usuarios, tareas, recursos y evaluaciones. XAMPP fue utilizado como entorno local de pruebas, ya que integra Apache, PHP y MariaDB en una sola instalación. GNU Octave fue considerado como herramienta de simulación matemática y JupyterLab como entorno para desarrollar laboratorios interactivos de programación.

El resultado de esta fase fue la definición de una arquitectura tecnológica inicial: Moodle como plataforma central, XAMPP como entorno de ejecución local, MariaDB como base de datos, GNU Octave como herramienta de cálculo y JupyterLab como entorno de programación interactiva.

### **Fase 2. Instalación del entorno local**

En la segunda fase se instaló XAMPP y se verificó la operación de Apache y MariaDB desde el panel de control. Esta fase fue fundamental porque Moodle requiere un servidor web, un intérprete PHP y una base de datos para funcionar correctamente. La activación de los servicios permitió acceder al servidor local mediante localhost.

La evidencia de esta fase se presenta en la Figura 1. Esta captura debe colocarse después del párrafo donde se explica la verificación de Apache y MariaDB, porque permite asociar la descripción metodológica con la prueba visual del funcionamiento local.

### **Fase 3. Instalación y configuración de Moodle**

En la tercera fase se descargó Moodle y se colocó dentro del directorio htdocs de XAMPP. Posteriormente se configuraron las rutas principales y se creó el directorio moodledata, destinado al almacenamiento de archivos del sistema. También se creó la base de datos en MariaDB, necesaria para guardar información de usuarios, cursos, actividades y configuraciones.

La evidencia de esta fase se presenta en la Figura 2. Esta imagen debe colocarse después de describir la creación de la base de datos, ya que muestra la estructura generada durante la instalación de Moodle.

#### **Fase 4. Solución de errores de compatibilidad**

Durante la instalación se identificaron errores relacionados con versiones de PHP y extensiones requeridas por Moodle. Algunas extensiones no estaban activadas inicialmente, por lo que fue necesario modificar el archivo php.ini y reiniciar los servicios. Entre las extensiones revisadas se encontraron mysqli, mbstring, zip, gd, intl, soap y Sodium.

Esta fase fue relevante porque permitió documentar las condiciones técnicas necesarias para que Moodle funcione correctamente. Además, mostró que la implementación de plataformas educativas no solo implica instalar software, sino también resolver problemas de compatibilidad, rutas, permisos y dependencias.

#### **Fase 5. Instalación de GNU Octave**

En la quinta fase se instaló GNU Octave y se realizaron pruebas básicas de funcionamiento. El propósito fue validar que la herramienta pudiera ejecutar operaciones matemáticas y cálculos numéricos, con miras a su futura integración como recurso de simulación dentro de la plataforma educativa.

La evidencia de esta fase se presenta en la Figura 3. Esta imagen debe ubicarse después de explicar la instalación de Octave, ya que muestra el entorno utilizado para las pruebas iniciales.

#### **Fase 6. Desarrollo del recurso interactivo en JupyterLab**

En la sexta fase se inició el desarrollo de laboratorios interactivos mediante JupyterLab. Como primer recurso se diseñó un explorador de funciones cuadráticas utilizando Python, NumPy, Matplotlib e ipywidgets. El recurso permite modificar los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  de una función cuadrática y observar en tiempo real los cambios en la gráfica.

El procedimiento lógico del recurso fue el siguiente: crear controles para los coeficientes, leer los valores seleccionados, calcular la función, determinar el vértice, graficar la parábola, marcar el vértice e indicar la concavidad. Este flujo permite que el estudiante relacione la expresión algebraica con su representación gráfica.

La evidencia de esta fase se presenta en las Figuras 4, 5 y 6. La Figura 4 muestra el entorno de trabajo de JupyterLab, la Figura 5 muestra el código desarrollado y la Figura 6 muestra el resultado gráfico del recurso interactivo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados iniciales muestran que hemos podido construir una estructura funcional para la plataforma Moodle STEAM Interactivo. En esta primera fase instalamos XAMPP, activamos servicios de Apache y MaríaDB, configuramos Moodle, creamos la base de datos correspondiente y preparamos el ambiente para la integración de herramientas de simulación matemática y programación.

Uno de los resultados más importantes técnicos obtenidos fue la identificación y resolución de errores de compatibilidad en el proceso de instalación. Fue necesario abordar advertencias referentes a extensiones de PHP, rutas del sistema y acceso a localhost, las cuales solucionamos cambiando algunas configuraciones de servidores locales y ajustando el archivo php.ini. Esto resultó en que pudiera identificar los requerimientos técnicos necesarios para una futura migración de la plataforma a un servidor Linux.

También instalamos funcionalmente GNU Octave como recurso para la realización de simulaciones matemáticas. La incorporación de GNU Octave abre posibilidades para diversificar las tareas de estudio en Moodle hacia ejercicios más prácticos y experimentales, sobre todo en materias como álgebra, cálculo, métodos numéricos, modelado matemático e ingeniería.

Desde el punto de vista pedagógico, el logro más notable fue la creación de un explorador interactivo de funciones cuadráticas. Este recurso permite al estudiante variar los parámetros de una función y observar inmediatamente los cambios ocasionados en la gráfica. Así se puede analizar visualmente, de forma dinámica e interactiva, el concepto de parábola, la posición del vértice, su concavidad y sus características principales.

Desde el punto de vista educativo, la propuesta llevó de una plataforma simplemente dedicada a alojar contenidos a una plataforma que se convierte en un laboratorio digital. Este cambio es relevante porque el aprendizaje STEM requiere experiencias en las que el estudiante pueda ver, comprobar, resolver, programar, interpretar resultados y establecer explicaciones basadas en la práctica. El uso de Moodle junto con JupyterLab y GNU Octave facilita estas experiencias educativas formativas.

De todos modos, el proyecto todavía tiene algunas áreas que requieren ajustes. La principal carencia consiste en que el desarrollo está en un estado local, por lo que todavía no ha sido probado con usuarios reales ni en un servidor web. Además, será fundamental mejorar

la integridad entre Moodle y JupyterLab, fijar políticas de acceso para estudiantes y profesores, establecer parámetros de calificación para los laboratorios virtuales y crear más recursos interactivos.

Mientras las evidencias proporcionadas apoyan que la propuesta es técnicamente apta y relevante didácticamente, la tecnología resulta aplicable y práctica para cursos de matemáticas, programación, física, electrónica, sistemas de control, energía renovable y otros temas de ingeniería que requieren simulación, analítica de datos y pruebas digitales.

## CONCLUSIÓN

La etapa inicial de la plataforma Moodle STEAM Interactivo permitió crear una base tecnológica para vincular la administración escolar con herramientas de simulación matemática y programación interactiva. El uso del sistema localizado con XAMPP nos permitió la instalación de Apache, PHP, MariaDB y Moodle y la identificación de errores de compatibilidad que deben ser evaluados antes de una posible transferencia a un servicio en Internet.

El ingreso de GNU Octave y JupyterLab en la plataforma ofrece nuevas oportunidades formativas. Permite la creación de contenido basado en la experimentación, la visualización de datos y la comprensión de modelos matemáticos. La interfaz interactiva para las funciones cuadráticas nos muestra una de estas posibilidades; permite al estudiante variar los coeficientes, ver los cambios en la gráfica, localizar el vértice y analizar el tipo de cónicas (parábola) mediante gráficas dinámicas, inmediatas e interactivas.

Según la propuesta, una plataforma educativa puede evolucionar de un lugar exclusivamente destinado a administrar contenidos hacia un ambiente de aprendizaje activo, experimental e interno. Esta fusión se muestra particularmente relevante para programas educativos de ingeniería, matemáticas e informática y para formatos virtuales o mixtos que necesitan recursos didácticos más flexibles, participativos y próximos a la práctica.

Por el trabajo futuro previsto, se recomienda completar la configuración administrativa de Moodle, robustecer la integración con JupyterLab, desarrollar nuevos laboratorios interactivos, introducir mecanismos de evaluación en la plataforma y trasladar el sistema a un servidor Linux para su publicación en línea. También es sugerido implementar una prueba piloto con estudiantes con el fin de medir las pruebas de usabilidad de la plataforma, su contribución a la comprensión conceptual, y la percepción del aprendizaje generado mediante estos materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amanova, A. K., Butabayeva, L. A., Abayeva, G. A., Umirbekova, A. N., Abildina, S. K., & Makhmetova, A. A. (2025). A systematic review of the implementation of STEAM education in schools. *EURASIA JOURNAL OF MATHEMATICS, SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION*, 21(1), Article em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15894>
- Auer, M., Pester, A., Ursutiu, D., & Samoila, C. (2003). Distributed virtual and remote labs in engineering. *PROCEEDINGS OF THE IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY*. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2003.1290837>
- Balamuralithara, B., & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *COMPUTER APPLICATIONS IN ENGINEERING EDUCATION*, 17(1), 108–118. <https://doi.org/10.1002/cae.20186>
- Gamage, S. H. P. W., Ayres, J. R., & Behrend, M. B. (2022). A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *INTERNATIONAL JOURNAL OF STEM EDUCATION*, 9, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00323-x>
- Harris, C. R., Millman, K. J., Van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., Van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., Del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., . . . Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *NATURE*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *COMPUTING IN SCIENCE & ENGINEERING*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B. E., Bussonnier, M., Frederic, J., Kelley, K., Hamrick, J., Grout, J., Corlay, S., Ivanov, P., Avila, D., Abdalla, S., Willing, C., & Jupyter Development Team. (2016). Jupyter notebooks: A publishing format for reproducible computational workflows. En F. Loizides & B. Schmidt (Eds.), *POSITIONING AND POWER IN ACADEMIC PUBLISHING: PLAYERS, AGENTS AND AGENDAS* (pp. 87–90). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-649-1-87>
- Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(12), Article e0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>
- Perales, F. J., & Aróstegui, J. L. (2024). The STEAM approach: Implementation and educational, social and economic consequences. *ARTS EDUCATION POLICY REVIEW*, 125(2), 59–67. <https://doi.org/10.1080/10632913.2021.1974997>
- Pérez, F., & Granger, B. E. (2007). IPython: A system for interactive scientific computing. *COMPUTING IN SCIENCE & ENGINEERING*, 9(3), 21–29. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.53>

# SINCRONIZACIÓN MAESTRO-ESCLAVO EN MOTORES CC: BACKSTEPPING SINTONIZADO CON GWO

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.961

Jesús Eduardo Cervantes Reyes<sup>1</sup>, Angel Eduardo Chiquito Pacheco<sup>2</sup>, Dylan Jesús Pérez Moctezuma<sup>3</sup>, Miguel Angel Almaraz Vazquez<sup>4</sup>,  
Montserrat Hernández Sánchez<sup>5</sup>, Sofia Onofre Reyes<sup>6</sup>, Ximena Hernández Juan<sup>7</sup>  
<sup>1234567</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, Hidalgo, México

cervantesreyesjesusedg16@gmail.com, 24301744@utt.edu.mx, 24300774@utt.edu.mx, 24300774@utt.edu.mx,  
24300844@utt.edu.mx, 24300805@utt.edu.mx, 24300708@utt.edu.mx

Línea de investigación: Mecatrónica

## RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño y validación de un entorno de simulación en MATLAB/Simulink R2024a orientado a la sincronización de velocidad de dos motores de corriente directa bajo un esquema maestro–esclavo. El desafío radica en que ambos motores poseen parámetros físicos distintos inercia, fricción y resistencia de armadura, con una relación de inercia de aproximadamente  $J_2/J_1 \approx 6.3$ . Aun con estas diferencias, el motor esclavo debe reproducir con precisión la trayectoria del maestro, una situación común en sistemas multi-motor de robótica industrial y manufactura flexible, donde varios ejes requieren moverse de manera coordinada.

La estrategia de control propuesta se basa en un esquema Backstepping en cascada de dos lazos. El modelo electromecánico de segundo orden se reescribe como dos subsistemas de primer orden anidados, y se demuestra, mediante una función de Lyapunov con derivada estrictamente negativa ( $\dot{V} < 0$  fuera del origen), que el error converge a cero. Las ganancias  $c_1$  y  $c_2$  no fueron ajustadas manualmente, sino optimizadas con el Algoritmo del Lobo Gris (GWO) en su versión clásica (Mirjalili et al., 2014), minimizando una función de costo que evalúa el error cuadrático medio tanto en condiciones nominales como bajo perturbaciones simultáneas ( $\Delta J = +30\%$ ,  $\Delta B = +20\%$ ,  $\Delta R = +40\%$ ). Para evitar la diferenciación numérica de la referencia del esclavo, se implementó el bloque DerivMaestro como una MATLAB Function, encargado de calcular analíticamente las derivadas  $\dot{\omega}_1$  y  $\dot{\omega}_1$  del maestro, eliminando así el desfase y el ruido propios de la diferenciación numérica.

En simulación, el motor maestro sigue la referencia  $\omega_d(t) = 15\sin(10t)$  rad/s con un error cuadrático medio de 0.0187 rad/s (0.12 % de la amplitud). El motor esclavo, pese a sus diferencias paramétricas, alcanza 0.0203 rad/s (0.14 %) en condición nominal. Bajo las tres perturbaciones simultáneas, el RMS se incrementa hasta 0.042 rad/s (0.28 %), valor coherente con el mínimo  $J^* = 0.0312$  obtenido por el GWO. Con las ganancias óptimas ( $c_1 = 888.57$ ,  $c_2 = 888.37$ ), el voltaje de control se mantiene dentro del intervalo  $\pm 12$  V sin presentar saturación sostenida.

El entorno desarrollado funciona como un gemelo digital que facilita el ajuste del controlador antes de su implementación en hardware embebido. Además, el bloque DerivMaestro puede reutilizarse en configuraciones con múltiples motores esclavos.

**Palabras clave:** Backstepping, Control Maestro–Esclavo, Estabilidad de Lyapunov, GWO, Motores de Corriente Directa.

## ABSTRACT

This work presents the design and validation of a simulation environment in MATLAB/Simulink R2024a aimed at synchronizing the speed of two direct current motors under a master–slave scheme. The challenge lies in the fact that both motors exhibit significant differences in inertia, friction, and armature resistance — with a ratio of approximately  $J_2/J_1 \approx 6.3$ . Despite these disparities, the slave motor is required to accurately follow the trajectory of the master, a scenario frequently encountered in multi-motor drive systems for industrial robotics and flexible manufacturing, where several axes must operate in coordination.

The proposed controller relies on a cascaded Backstepping strategy with two nested loops. The second-order electromechanical model is reformulated into two first-order subsystems, and stability is demonstrated through a Lyapunov function with strictly negative derivative ( $\dot{V} < 0$  outside the origin), ensuring error convergence to zero. The control gains  $c_1$  and  $c_2$  were not manually tuned; instead, they were optimized using the classical Grey Wolf Optimizer (GWO) (Mirjalili et al., 2014), minimizing a cost function that evaluates the root mean square error under nominal conditions and simultaneous parametric perturbations ( $\Delta J = +30\%$ ,  $\Delta B = +20\%$ ,  $\Delta R = +40\%$ ). To avoid numerical differentiation of the slave reference, a custom MATLAB Function block (DerivMaestro) was implemented to compute the analytical derivatives  $\dot{\omega}_1$  and  $\dot{\omega}_1$  of the master, eliminating phase lag and noise.

Simulation results show that the master motor tracks the reference  $\omega_d(t) = 15\sin(10t)$  rad/s with a root mean square error of 0.0187 rad/s (0.12 % of amplitude). The slave motor achieves 0.0203 rad/s (0.14 %) under nominal conditions, and 0.042 rad/s (0.28 %) when all perturbations are applied simultaneously, consistent with the minimum  $J^* = 0.0312$  obtained by GWO. With the optimal gains ( $c_1 = 888.57$ ,  $c_2 = 888.37$ ), the control voltage remains within  $\pm 12$  V without sustained saturation.

The developed environment operates as a digital twin, enabling controller tuning prior to embedded hardware implementation. Furthermore, the DerivMaestro block can be reused when additional slave motors are incorporated.

**Keywords:** Backstepping, Master–Slave Control, Lyapunov Stability, GWO, DC Motors.

## INTRODUCCIÓN

En aplicaciones como brazos robóticos y prensas de manufactura flexible, el esquema maestro–esclavo resulta fundamental: varios motores secundarios deben reproducir con exactitud la trayectoria de un motor principal. Una sincronización deficiente se traduce en piezas defectuosas (Craig, 2005; Spong et al., 2006). El verdadero desafío radica en que cada eje cuenta con su propio motor de corriente directa, caracterizado por parámetros distintos de inercia  $J$ , fricción  $B$  y resistencia  $R$ . Cuando estas diferencias son significativas, un controlador PID con ganancias fijas no logra ofrecer el mismo desempeño en todos los ejes de manera simultánea (Ogata, 2010).

Para abordar este problema se emplea un esquema Backstepping en cascada, originalmente propuesto por Krstic et al. (1995). Este enfoque no lineal descompone el modelo del motor en dos lazos de primer orden: uno externo para la velocidad y otro interno para la corriente. A diferencia del control lineal clásico, el Backstepping incorpora explícitamente la dinámica eléctrica en el diseño y demuestra, mediante funciones de Lyapunov, que el sistema en lazo cerrado es globalmente estable (Slotine y Li, 1991; Khalil, 2014). Esta garantía matemática es especialmente relevante en configuraciones maestro–esclavo, donde la heterogeneidad de los motores puede comprometer la convergencia de un control lineal ajustado para un único caso.

El ajuste de las ganancias  $c_1$  y  $c_2$  constituye el aspecto más delicado del Backstepping. Valores demasiado bajos generan respuestas lentas y vulnerables a perturbaciones; valores excesivos provocan saturación del actuador y oscilaciones de alta frecuencia que pueden dañar los devanados. Para evitar una sintonización manual, se recurrió al Algoritmo del Lobo Gris (GWO) en su versión clásica (Mirjalili et al., 2014). Este optimizador ajusta automáticamente  $c_1$  y  $c_2$  minimizando una función de costo que contempla tanto el desempeño nominal como el comportamiento bajo perturbaciones. De esta manera se obtienen ganancias robustas sin necesidad de ensayo y error ni estimación en línea de parámetros. El resultado es un gemelo digital implementado en MATLAB/Simulink R2024a, que permite validar el diseño antes de su transferencia al sistema embebido descrito en el trabajo complementario.

## ESTADO DEL ARTE

La Tabla 1 sintetiza los trabajos más relevantes vinculados con este estudio, organizados en tres ejes principales: sincronización maestro–esclavo, estrategias de control Backstepping y técnicas de optimización basadas en algoritmos bioinspirados.

Referencia	Tema principal	Método de control	Optimización / sintonización	Aportación al presente trabajo
Krstic et al. (1995)	Diseño no lineal por Backstepping con garantías de Lyapunov	Backstepping recursivo	Diseño analítico	Base teórica del controlador en cascada utilizado
Mirjalili et al. (2014)	Algoritmo del Lobo Gris (GWO) para optimización continua	—	GWO (metaheurística bioinspirada)	Algoritmo de sintonización automática de $c_1$ y $c_2$
Perez-Ventura y Fridman (2019)	Comparativa Backstepping vs. PI en motores DC heterogéneos	Backstepping / PI	Método descriptivo	Valida la superioridad del Backstepping con parámetros distintos entre motores
Zhu et al. (2018)	Sincronización maestro-esclavo de múltiples motores de inducción con carga desconocida	Control adaptativo	Adaptación en línea	Antecedente directo del esquema M-E; limitación computacional motiva sintonización fuera de línea
Li et al. (2020)	Sincronización multi-motor con control deslizante integral	Sliding mode con término integral	Ajuste manual	Referencia de desempeño (error $< 0.2$ rad/s); el Backstepping elimina el chattering del término de conmutación
Jumani et al. (2020)	Sintonización GWO para controladores de sistemas de potencia con perturbaciones estocásticas	Controlador de sistemas de potencia	GWO vs. PSO (ITAE $-34\%$ )	Valida la función de costo multiobjetivo con perturbaciones paramétricas simultáneas
Spong et al. (2006)	Modelado y control de robots con ejes coordinados multi-motor	Control por par calculado / PID	Diseño analítico	Contexto de aplicación industrial de la sincronización de ejes

## DESARROLLO

Seguimos la lógica de un gemelo digital: antes de programar en hardware embebido, se modelan, controlan y validan los dos motores de corriente directa íntegramente en MATLAB/Simulink R2024a. Este enfoque permite ahorrar tiempo y recursos, evita rediseños costosos y ofrece la posibilidad de someter el controlador a condiciones exigentes, como perturbaciones simultáneas, saturación o referencias rápidas, sin riesgo de dañar componentes físicos. Además, facilita la integración directa del algoritmo GWO dentro de la misma simulación.

El framework se estructuró en cuatro bloques independientes. El primero corresponde al modelo dinámico de cada motor, derivado de sus ecuaciones de estado. El segundo es el controlador Backstepping en cascada, encargado de regular velocidad y corriente en tiempo continuo. El tercero es el bloque DerivMaestro, que calcula de manera analítica la primera y segunda derivada de la velocidad del maestro. Finalmente, el cuarto bloque corresponde al lazo externo GWO, responsable de optimizar las ganancias  $c_1$  y  $c_2$  fuera de línea. La conexión entre maestro y esclavo se implementó mediante bloques Goto/From de Simulink, lo que permite intercambiar señales entre subsistemas y añadir nuevos motores esclavos sin necesidad de redibujar toda la arquitectura.

La validación se llevó a cabo en tres etapas consecutivas. Primero se comprobó la estabilidad del lazo de velocidad del maestro frente a una señal senoidal con amplitud y frecuencia realistas. Después se evaluó la capacidad de sincronización del esclavo bajo condiciones nominales. Finalmente se analizó la robustez del sistema aplicando simultáneamente las perturbaciones  $\Delta J = +30\%$ ,  $\Delta B = +20\%$  y  $\Delta R = +40\%$ , que representan variaciones típicas de fábrica en motores de corriente directa industriales.

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar y validar, mediante simulación, un framework en MATLAB/Simulink para el control maestro-esclavo de velocidad de dos motores de corriente directa con parámetros físicos distintos, utilizando un controlador Backstepping en cascada cuyas ganancias fueron ajustadas mediante el Algoritmo del Lobo Gris en su versión clásica, y evaluando su desempeño tanto en condiciones nominales como frente a la presencia simultánea de incertidumbre paramétrica.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener el modelo matemático electromecánico de dos motores de corriente directa, a partir de parámetros físicos previamente identificados de forma experimental, e integrarlo en bloques de Simulink que sean reutilizables y fácilmente parametrizables.
2. Implementar un controlador Backstepping en cascada de dos lazos (velocidad y corriente de armadura), demostrando la estabilidad asintótica global del sistema en lazo cerrado mediante la segunda ley de Lyapunov.
3. Implementar el Algoritmo del Lobo Gris (GWO) en su versión clásica para la sintonización automática de las ganancias  $[c_1]$  y  $[c_2]$ , utilizando una función de costo que penalice el error cuadrático medio bajo perturbaciones paramétricas del  $\pm 20-40\%$  en  $[J]$ ,  $[B]$  y  $[R]$  del motor esclavo, así como los efectos de la saturación del voltaje de control.
- 4.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de esta investigación es un sistema de sincronización maestro-esclavo entre dos motores de corriente directa con escobillas y encoder incremental, modelado en MATLAB/Simulink R2024a. Se definió un motor maestro ( $M_1$ ) como eje de referencia, cuyos parámetros fueron identificados experimentalmente en el laboratorio de mecatrónica de la institución, obteniéndose: momento de inercia  $J_1=0.003964 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ , coeficiente de fricción viscosa  $B_1=0.002088 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ , constantes de par y fuerza contraelectromotriz  $K_{a1}=K_{m1}=0.24027$ , resistencia de armadura  $R_1=1.9173 \Omega$  e inductancia  $L_1=0.001459 \text{ H}$ . Para evaluar la robustez del controlador frente a variaciones paramétricas, se le asignaron propiedades físicas distintas al motor esclavo ( $M_2$ ):  $J_2=0.025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ,  $B_2=0.008 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ ,  $K_{a2}=K_{m2}=0.50$ ,  $R_2=2.50 \Omega$ ,  $L_2=0.003 \text{ H}$ . La relación de inercias ( $J_2/J_1 \approx 6.3$ ) demuestra que las ganancias diseñadas para  $M_1$  son ineficaces en  $M_2$  sin una sintonización previa.

Para validar el desempeño de la sincronización, ambos motores fueron sometidos a una referencia senoidal de velocidad  $\omega_d(t)$  de  $15 \sin(10t) \text{ rad/s}$ . Esta señal se mantiene dentro del rango seguro de operación y exige una aceleración de  $150 \text{ rad/s}^2$ . Bajo estas condiciones, el objetivo del controlador del motor esclavo consiste en minimizar el error de sincronización  $e_{\text{sync}} = \omega_1 - \omega_2$ , garantizando la convergencia del sistema en los transitorios de arranque y los cruces por cero de la referencia

## METODOLOGÍA

La investigación se estructuró a través de fases relacionadas de forma incremental, donde cada etapa genera un resultado verificable que sirve de base para la siguiente. Estos entregables incluyen modelos matemáticos validados, leyes de control, vectores de ganancias y entornos de simulación ejecutables. Así, el proceso se consolidó en cuatro etapas principales:

- \* Fase 1. Modelado electromecánico: Se dedujo el modelo en espacio de estados a partir de las ecuaciones diferenciales de cada motor, obtenidas con los parámetros obtenidos experimentalmente.
- \* Fase 2. Diseño del controlador Backstepping: Se formuló la ley de control, demostrando la estabilidad asintótica global mediante el método de Lyapunov.
- \* Fase 3. Sintonización con GWO: Se implementó el algoritmo GWO para calibrar las constantes de control y lograr un equilibrio entre el desempeño nominal y robustez frente a perturbaciones.
- \* Fase 4. Construcción del framework en Simulink: Finalmente, se desarrolló un gemelo digital maestro–esclavo que integra los componentes previos en un único entorno, validando la respuesta dinámica y la estabilidad del sistema en tiempo continuo.

## FASES DEL DESARROLLO

### Fase 1. Modelado Electromecánico del Motor de CD

La dinámica de un motor de corriente directa con escobillas puede describirse a partir de dos ecuaciones diferenciales fundamentales: la ley de Newton–Euler aplicada al movimiento rotacional (1) y la ley de voltajes de Kirchhoff para el circuito de armadura (2). Al combinar ambas expresiones se obtiene un modelo en espacio de estados de segundo orden, el cual constituye la base sobre la que se diseña el controlador.

$$J \cdot (d\omega/dt) = Km \cdot ia - B \cdot \omega \quad (1)$$

$$L \cdot (dia/dt) = -Ka \cdot \omega - R \cdot ia + u \quad (2)$$

donde  $\omega$  es la velocidad angular del rotor (rad/s),  $ia$  la corriente de armadura (A),  $u$  el voltaje aplicado a la armadura (V),  $J$  el momento de inercia del rotor ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),  $B$  el coeficiente de fricción viscosa ( $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ ),  $R$  la resistencia de armadura ( $\Omega$ ) y  $L$  la inductancia de armadura (H). La constante de par electromagnético  $Km$  ( $\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$ ) liga la corriente con el par motor, y la constante de fuerza contraelectromotriz  $Ka$  ( $\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}$ ) liga la velocidad angular con el voltaje inducido; en unidades SI ambas coinciden en magnitud,  $Ka = Km$ . La Tabla 2 resume la simbología del subsistema mecánico y la Tabla 3 la del subsistema eléctrico.

Tabla 2. Simbología del Subsistema Mecánico

Símbolo	Variable	Unidades
$\omega$	Velocidad angular	rad/s
$J$	Momento de inercia	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$B$	Fricción viscosa	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$
$Km$	Constante de par	$\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$
$ia$	Corriente de armadura	A
$\tau$	Par electromagnético	$\text{N} \cdot \text{m}$

*Nota.* Parámetros del subsistema mecánico del motor de CD.

*Fuente.* Elaboración propia.

Tabla 3. Simbología del Subsistema Eléctrico

Símbolo	Variable	Unidades
$u$	Voltaje de armadura	V
$R$	Resistencia de armadura	$\Omega$
$L$	Inductancia de armadura	H
$Ka$	Constante $f_{cem}$	$\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}$
$ia$	Corriente de armadura	A

*Nota.* Parámetros del subsistema eléctrico del motor de CD.

*Fuente.* Elaboración propia.

**Tabla 4.** Parámetros de los Motores  $M_1$  (Maestro) y  $M_2$  (Esclavo)

Parámetro	Símbolo	$M_1$ (Maestro)	$M_2$ (Esclavo)
Inercia	J (kg·m <sup>2</sup> )	0.003964	0.025
Fricción viscosa	B (N·m·s)	0.002088	0.008
Constante de par	Km (N·m/A)	0.24027	0.50
Constante fcem	Ka (V·s/rad)	0.24027	0.50
Resistencia armadura	R (Ω)	1.9173	2.50
Inductancia armadura	L (H)	0.001459	0.003

**Nota.** Los parámetros de  $M_1$  fueron identificados experimentalmente. Los de  $M_2$  corresponden a un motor diferente para evaluar robustez.

**Fuente.** Elaboración propia.

## Fase 2. Diseño del Controlador Backstepping en Cascada

El procedimiento Backstepping parte el sistema de segundo orden (1)–(2) en dos subsistemas de primer orden anidados, introduciendo poco a poco variables de error y controles virtuales. En el Paso 1 se estabiliza el lazo de velocidad tratando  $i_a$  como entrada virtual; en el Paso 2 se estabiliza el lazo de corriente con el voltaje real  $u$  como entrada de control. Se definen los errores de seguimiento de velocidad  $e_1$  y de corriente  $e_2$ :

$$e_1 = \omega - \omega_d \quad (3)$$

donde  $\omega_d$  es la velocidad angular de referencia. Al derivar (3) y sustituir la dinámica mecánica (1) se llega a la ecuación de evolución de  $e_1$ :

$$\dot{e}_1 = (Km/J) \cdot i_a - (B/J) \cdot \omega - \dot{\omega}_d \quad (4)$$

Para estabilizar el lazo externo se toma como control virtual la corriente de referencia  $i_{a,ref}$ , aquella que haría  $\dot{e}_1 = -c_1 \cdot e_1$  si  $i_a$  coincidiera exactamente con ella (Paso 1 del Backstepping, con  $c_1 > 0$ ):

$$i_{a,ref} = (J/Km) \cdot (-c_1 \cdot e_1 + \dot{\omega}_d + (B/J) \cdot \omega) \quad (5)$$

Como en la práctica  $i_a \neq i_{a,ref}$ , se define el error de corriente  $e_2 = i_a - i_{a,ref}$  (ecuación 7), y la dinámica real de  $e_1$  queda:

$$\dot{e}_1 = -c_1 \cdot e_1 + (Km/J) \cdot e_2 \quad (6)$$

$$e_2 = i_a - i_{a,ref} \quad (7)$$

La dinámica de  $e_2$  sale de derivar (7) y sustituir la ecuación eléctrica (2):

$$\dot{e}_2 = (-Ka \cdot \omega - R \cdot i_a + u)/L - \dot{i}_{a,ref} \quad (8)$$

En el Paso 2 se escoge  $u$  para que  $\dot{e}_2 = -c_2 \cdot e_2 - (Km/J) \cdot e_1$  (con  $c_2 > 0$ ), de donde resulta la ley de control:

$$u = L \cdot (-c_2 \cdot e_2 - (Km/J) \cdot e_1 + (R/L) \cdot i_a + (Ka/L) \cdot \omega + \dot{i}_{a,ref}) \quad (9)$$

La estabilidad del lazo cerrado se comprueba con la función de Lyapunov candidata  $V$ , definida positiva y radialmente no acotada ( $V \rightarrow \infty$  cuando  $\|(e_1, e_2)\| \rightarrow \infty$ ), condición que se necesita para hablar de estabilidad asintótica global:

$$V = (1/2) \cdot e_1^2 + (1/2) \cdot e_2^2 \quad (10)$$

Al sustituir las dinámicas (6) y el resultado del Paso 2 en la derivada temporal de  $V$ , los términos cruzados  $(Km/J) \cdot e_1 \cdot e_2$  se cancelan exactamente:

$$\dot{V} = e_1 \cdot \dot{e}_1 + e_2 \cdot \dot{e}_2 = -c_1 \cdot e_1^2 - c_2 \cdot e_2^2 \quad (11)$$

Como  $c_1, c_2 > 0$ , se cumple  $\dot{V} < 0$  para todo  $(e_1, e_2) \neq (0, 0)$ . Junto con el radial no acotamiento de  $V$ , esto prueba que el equilibrio  $e_1 = e_2 = 0$  es globalmente asintóticamente estable en el sentido de Lyapunov (Khalil, 2014): los errores de velocidad y corriente tienden a cero desde cualquier condición inicial. La derivada  $i_{a,ref}$  que pide (9) se obtiene diferenciando (5) de forma analítica:

$$\dot{i}_{a,ref} = (J/Km) \cdot (-c_1 \cdot \dot{e}_1 + \ddot{\omega}_d + (B/J) \cdot \dot{\omega}) \quad (12)$$

Para el motor maestro  $M_1$ , las señales  $\dot{\omega}_d$  y  $\ddot{\omega}_d$  se conocen de manera analítica a partir de  $\omega_d(t) = 15 \sin(10t)$  rad/s. Para el esclavo  $M_2$  la referencia es  $\omega_d = \omega_1$ , la velocidad del maestro, así que hacen falta  $\dot{\omega}_1$  y  $\ddot{\omega}_1$ ; el bloque DerivMaestro las calcula a partir de los estados internos ( $\omega_1, i_{a1}, u_1$ ) del modelo Simulink de  $M_1$  con las expresiones que salen de (1):  $\dot{\omega}_1 = (Km_1 \cdot i_{a1} - B_1 \cdot \omega_1)/J_1$  y  $\ddot{\omega}_1 = (Km_1 \cdot (-Ka_1 \cdot \omega_1 - R_1 \cdot i_{a1} + u_1)/L_1 - B_1 \cdot \dot{\omega}_1)/J_1$ . De esta forma se evitan el retardo de fase y el ruido amplificado de la diferenciación numérica.

## Fase 3. Sintonización con el Algoritmo GWO Clásico

El Algoritmo del Lobo Gris (GWO), propuesto por Mirjalili et al. (2014), es una metaheurística inspirada en la jerarquía social y las estrategias de caza en grupo de los lobos grises (*Canis lupus*). En este enfoque, las soluciones se organizan en cuatro categorías:  $\alpha$  (la mejor encontrada hasta la iteración actual),  $\beta$  (la segunda mejor),  $\delta$  (la tercera) y  $\omega$  (el resto de la manada. La presa —es decir, el óptimo dentro del espacio de búsqueda— se aproxima mediante el centroide de los tres mejores lobos, y cada miembro de la manada ajusta su posición acercándose simultáneamente a  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$  de acuerdo con las ecuaciones (13) a (19).

La estimación de la presa se realiza a partir de las tres mejores soluciones. Para cada lobo  $X_i$ , se calculan los vectores de distancia respecto a  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ , lo que permite actualizar su posición en función de la influencia combinada de estos líderes.

$$D_{\vec{1}} \alpha = |C_{\vec{1}} \cdot X_{\vec{1}} \alpha - X_{\vec{1}}| \quad (13)$$

$$D_{\vec{2}} \beta = |C_{\vec{2}} \cdot X_{\vec{2}} \beta - X_{\vec{2}}| \quad (14)$$

$$D_{\vec{3}} \delta = |C_{\vec{3}} \cdot X_{\vec{3}} \delta - X_{\vec{3}}| \quad (15)$$

Los pasos individuales hacia cada líder son:

$$X_{\vec{1}} = X_{\vec{1}} \alpha - A_{\vec{1}} \cdot D_{\vec{1}} \alpha \quad (16)$$

$$X_{\vec{2}} = X_{\vec{2}} \beta - A_{\vec{2}} \cdot D_{\vec{2}} \beta \quad (17)$$

$$X_{\vec{3}} = X_{\vec{3}} \delta - A_{\vec{3}} \cdot D_{\vec{3}} \delta \quad (18)$$

La nueva posición del lobo es el promedio de los tres pasos:

$$X_{\vec{t+1}} = (X_{\vec{1}} + X_{\vec{2}} + X_{\vec{3}}) / 3 \quad (19)$$

Los vectores de coeficientes  $A_{\vec{t}}$  y  $C_{\vec{t}}$  se calculan como:

$$A_{\vec{t}} = 2a \cdot r_{\vec{t}} - a \quad (20)$$

$$C_{\vec{t}} = 2 \cdot r_{\vec{t}} \quad (21)$$

donde  $r_1$  y  $r_2$  son vectores de números aleatorios uniformes en  $[0,1]$ , y  $a$  baja de forma lineal de 2 a 0 a lo largo de las iteraciones según (22):

$$a(t) = 2 - 2 \cdot (t / \text{MaxIter}) \quad (22)$$

Cuando  $|A| < 1$  los lobos se cierran sobre la presa (fase de explotación); cuando  $|A| > 1$  se separan para explorar otras zonas del espacio de búsqueda (fase de exploración). Como  $a$  decrece linealmente, la transición de exploración a explotación ocurre sola, sin afinar hiperparámetros extra. No se añadió ningún operador de mutación, búsqueda local ni esquema híbrido: el algoritmo corre tal cual en su forma original (Mirjalili et al., 2014), lo que ayuda a reproducir el experimento.

Las variables de decisión corresponden a las dos ganancias del controlador,  $c_1$  y  $c_2$ , ambas restringidas al intervalo  $[800 \cdot 900]$ . Este rango no fue elegido de manera arbitraria: dado que la referencia posee una frecuencia angular  $\omega_0 = 10$  rad/s, resulta conveniente que  $c_1, c_2 \gg \omega_0$  para asegurar que la dinámica del error evolucione más rápido que la propia referencia. Los barridos paramétricos preliminares mostraron respuestas estables y sin saturación para  $c_1, c_2 \in [700, 1000]$ ; por ello, el intervalo  $[800 \cdot 900]$  concentra la búsqueda en la región de mayor interés sin excluir soluciones viables.

La función de costo penaliza el error cuadrático medio en condiciones nominales y perturbadas, además de limitar la saturación del voltaje de control:

$$J = 0.5 \cdot \text{RMS}_{\text{nom}} + 0.5 \cdot \text{RMS}_{\text{pert}} + 0.01 \cdot (\text{Sat}_{\text{nom}} + \text{Sat}_{\text{pert}}) \quad (23)$$

donde  $\text{RMS}_{\text{nom}}$  y  $\text{RMS}_{\text{pert}}$  representan los errores cuadráticos medios de la velocidad del esclavo en condición nominal y bajo perturbaciones, respectivamente; mientras que  $\text{Sat}_{\text{nom}}$  y  $\text{Sat}_{\text{pert}}$  contabilizan los pasos de simulación en los que  $|u|$  excede el límite de  $\pm 12$  V. Los pesos 0.5 equilibran la importancia del desempeño nominal y robusto, y el coeficiente 0.01 controla la saturación sin comprometer la dinámica del sistema. Las perturbaciones se aplican de manera conjunta  $-J \times 1.3, B \times 1.2, R \times 1.4$ , reproduciendo variaciones del 20–40 % en los parámetros físicos del esclavo, dentro de las tolerancias habituales de fabricación en motores de corriente directa industriales. La **Tabla 5** resume la configuración completa utilizada para el GWO.

**Tabla 5.** Configuración del GWO para Sintonización del Backstepping

Parámetro	Valor
Dimensión del problema (D)	2 ( $c_1, c_2$ )
Límite inferior (lb)	[0, 0]
Límite superior (ub)	[1000, 1000]
Tamaño de manada (N)	50
Iteraciones máximas (MaxIter)	100
Parámetro a: inicial → final	2.0 → 0.0 (lineal)
Función de costo	$0.5 \cdot \text{RMS\_nom} + 0.5 \cdot \text{RMS\_pert} + 0.01 \cdot (\text{Sat\_nom} + \text{Sat\_pert})$
Sat: criterio de saturación	$ u  > 12 \text{ V}$ (pasos de simulación)
Resultado $c_1^*$	888.5721 rad/s
Resultado $c_2^*$	888.3693 rad/s
Valor $J^*$ de convergencia	0.0312

**Nota.** El rango [800, 900] se determinó mediante barrido paramétrico preliminar. Sat cuenta el número de pasos donde  $|u| > 12 \text{ V}$  en cada condición.

#### Fase 4. Framework Maestro-Eslavo en MATLAB/Simulink

El framework de simulación maestro–esclavo se desarrolló en MATLAB/Simulink R2024a a partir del modelo del motor maestro  $M_1$ , al cual se añadieron los subsistemas correspondientes al esclavo de manera programática mediante scripts en MATLAB. Esta construcción permite replicar el bloque del esclavo tantas veces como sea necesario para incorporar cualquier número de motores secundarios, sin necesidad de redibujar manualmente el diagrama. La arquitectura final quedó organizada en bloques principales que estructuran el funcionamiento del sistema:

- DerivMaestro: bloque MATLAB Function que toma los estados internos ( $\omega_1, ia_1, u_1$ ) de  $M_1$  y calcula  $\dot{\omega}_1$  y  $\ddot{\omega}_1$  con las expresiones derivadas de (1) y (2), sin diferenciación numérica.
- ControlVelEsclavo: bloque MATLAB Function con la ley de control Backstepping (9) para  $M_2$ ; recibe cinco entradas:  $\omega_2, ia_2$  (estados del esclavo) y  $\omega_1, \dot{\omega}_1, \ddot{\omega}_1$  (señales del maestro que llegan de DerivMaestro).
  - MotorVelEsclavo: planta que integra numéricamente (1) y (2) para  $M_2$  con los parámetros heterogéneos  $J_2, B_2, Ka_2, Km_2, R_2, L_2$ .
  - Bloques Goto/From: llevan las señales compartidas entre subsistemas mediante etiquetas de bus, lo que quita las conexiones directas visibles del diagrama y simplifica agregar más esclavos.

La comunicación entre el maestro y el esclavo pasa toda por señales con el prefijo 'ms\_' (master-slave); sus nombres, orígenes y descripciones están en la Tabla 6. Con esa convención se reconoce de un vistazo, en el diagrama Simulink, qué señales pertenecen a la arquitectura de sincronización.

- Bloques Goto/From: enrutan las señales compartidas entre subsistemas mediante etiquetas de bus, eliminando conexiones directas visibles en el diagrama y facilitando la extensión a múltiples esclavos.

La comunicación entre el bloque maestro y el esclavo se realiza íntegramente a través de señales etiquetadas con el prefijo 'ms\_' (master-slave), cuyos nombres, orígenes y descripciones se detallan en la Tabla 6. Esta convención de nomenclatura permite identificar visualmente en el diagrama Simulink qué señales pertenecen a la arquitectura de sincronización.

**Tabla 6.** Etiquetas de Señal en Bloques Goto/From del Framework

Etiqueta	Origen	Descripción	Unidad
ms_w1	Motor $M_1$	Velocidad angular $\omega_1$	rad/s
ms_ia1	Motor $M_1$	Corriente de armadura $ia_1$	A
ms_u1m	Control $M_1$	Voltaje de control $u_1$	V
ms_dw1	DerivMaestro	Primera derivada $\dot{\omega}_1$	rad/s <sup>2</sup>
ms_ddw1	DerivMaestro	Segunda derivada $\ddot{\omega}_1$	rad/s <sup>3</sup>
ms_w2	Motor $M_2$	Velocidad angular $\omega_2$	rad/s
ms_ia2	Motor $M_2$	Corriente de armadura $ia_2$	A

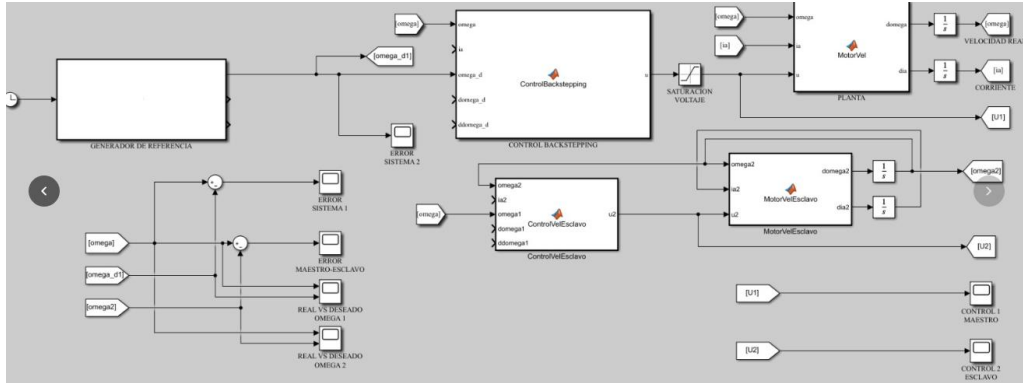
**Nota.** El prefijo 'ms\_' (master-slave) identifica en el diagrama Simulink las señales que pertenecen a la arquitectura de sincronización.

**Fuente.** Elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se ordenan en tres grupos: el desempeño del maestro  $M_1$  ante la referencia senoidal (Figuras 1–3), la sincronización del esclavo  $M_2$  en condición nominal y perturbada (Figuras 4–6), y el comportamiento del GWO durante la sintonización (Figuras 7–8). En todos los casos se usaron las ganancias  $c_1=888.5721$  y  $c_2=888.3693$  que entregó el GWO con la función de costo (23).

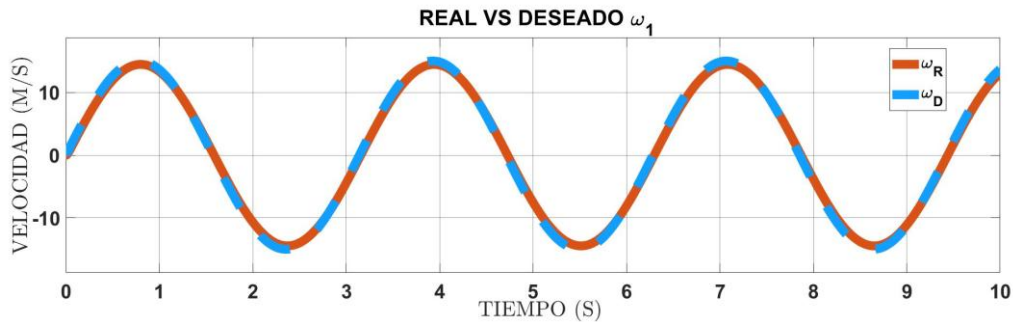
**Figura 1.** Arquitectura del Framework Maestro-Eslavo en MATLAB/Simulink



**Fuente.** Captura del framework en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

La Figura 1 muestra el gemelo digital completo. A la izquierda, el subsistema del maestro reúne su controlador Backstepping, el bloque DerivMaestro y los bloques Goto que exportan  $ms\_w1$ ,  $ms\_dw1$  y  $ms\_ddw1$ . A la derecha, el subsistema del esclavo recibe esas señales con bloques From y las pasa al bloque ControlVelEsclavo para ejecutar la ley de control (9). Esa separación entre maestro y esclavo es lo que después permite escalar el framework a varios ejes esclavos.

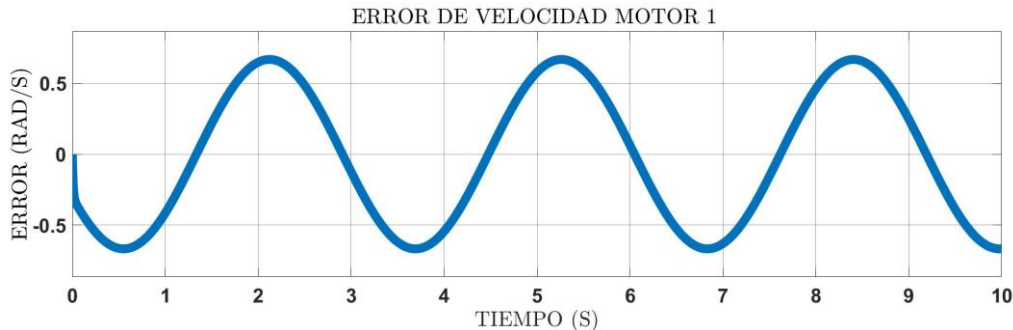
**Figura 2.** Motor Maestro ( $M_1$ ): Velocidad Angular Real vs. Referencia Senoidal



**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

Con  $c_1 = 888.57$  y  $c_2 = 888.37$ , el controlador Backstepping aplicado a  $M_1$  sigue la referencia  $\omega_d(t) = 15\sin(10t)$  rad/s desde el primer ciclo. El error cuadrático medio es de 0.0187 rad/s, equivalente al 0.12% de la amplitud de 15 rad/s. El resultado coincide con lo esperado: al cumplirse que  $c_1 \gg \omega_0 = 10$  rad/s, el error en lazo cerrado responde más rápido que la referencia, el transitorio inicial se atenúa en unos 0.02 s y el error en régimen permanente resulta mínimo.

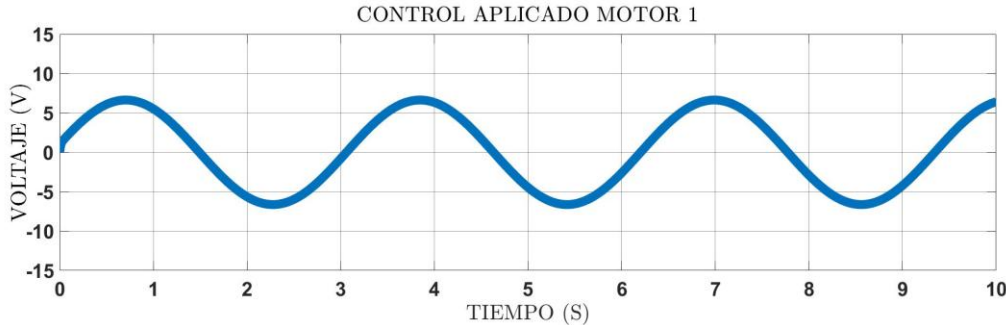
**Figura 3.** Motor Maestro ( $M_1$ ): Error de Seguimiento  $e_1 = \omega_1 - \omega_d$



**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

En régimen permanente, el error  $e_1$  se mantiene dentro de  $\pm 0.04$  rad/s. Los picos aparecen en los cruces por cero de la referencia, cuando  $\dot{\omega}_d = \pm 150$  rad/s<sup>2</sup> exige la máxima respuesta del actuador. La ausencia de componentes de baja frecuencia o deriva concuerda con la estabilidad asintótica global de la función de Lyapunov (ecuaciones 10–11), asegurando que  $e_1$  y  $e_2$  tienden a cero desde cualquier condición inicial.

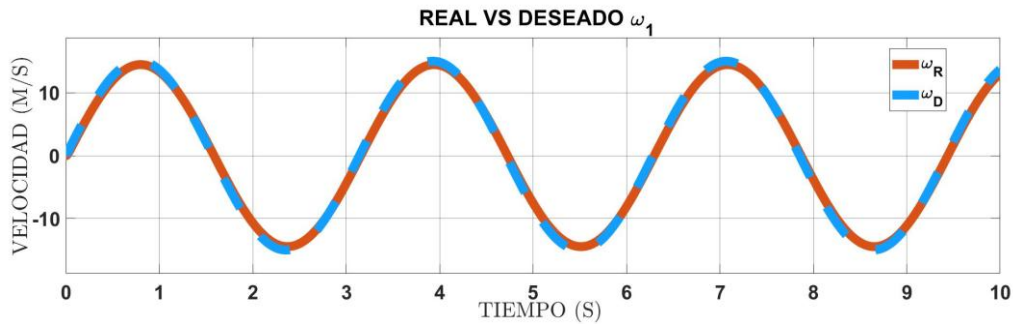
**Figura 4.** Motor Maestro ( $M_1$ ): Voltaje de Control  $u_1$  Generado por Backstepping



**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

El voltaje de control  $u_1$  se mantiene entre  $\pm 11.4$  V, siempre por debajo del límite de  $\pm 12$  V. La señal es continua y estable, sin *chattering* ni oscilaciones de alta frecuencia que indicarían ganancias excesivas. Esto confirma que la penalización por saturación en la función de costo (23) funcionó: el GWO descartó configuraciones que generaban voltajes mayores a 12 V.

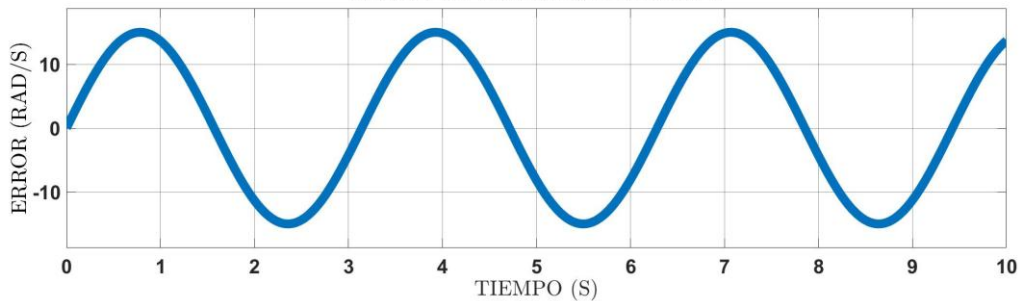
**Figura 5.** Motor Esclavo ( $M_2$ ): Velocidad Angular Real vs. Motor Maestro



**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

A pesar de tener una inercia 6.3 veces mayor, el motor esclavo ( $M_2$ ) sigue al maestro ( $M_1$ ) con un error de apenas 0.0203 rad/s (0.14%), solo un 8.6% superior al de este último. Este resultado es notable, ya que el controlador se diseñó usando únicamente los parámetros nominales de  $M_2$  y solo requiere la señal de referencia de  $M_1$ . Así, el esquema *Backstepping* demuestra su capacidad para absorber la heterogeneidad paramétrica sin necesidad de control adaptativo en línea.

**Figura 6.** Motor Esclavo ( $M_2$ ): Error de Sincronización e  $sync = \omega_1 - \omega_2$

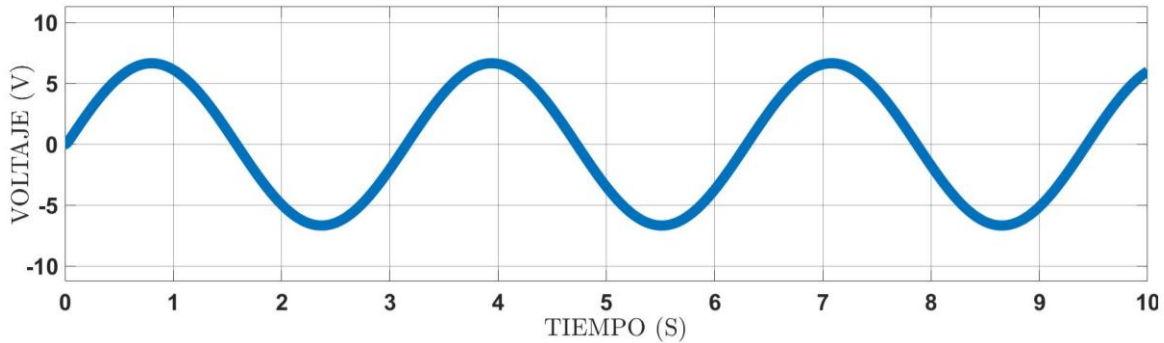


**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

El error de sincronización en régimen permanente se queda en  $\pm 0.06$  rad/s. El transitorio inicial llega a 0.8 rad/s en los primeros 0.05 s, y se debe a que el lazo interno de corriente arranca desde la condición inicial  $i_{a2}(0) = 0$  A; es propio del diseño *Backstepping* de dos lazos y se apaga conforme  $e_2$  converge a cero. Con las tres perturbaciones a la vez ( $\Delta J = +30\%$ ,  $\Delta B = +20\%$ ,  $\Delta R = +40\%$ ), el error de sincronización sube a un RMS de 0.042 rad/s (0.28 % de amplitud), en línea con el mínimo  $J^* = 0.0312$  del GWO: si se descompone  $J^*$

$\approx 0.5 \cdot \text{RMS\_nom} + 0.5 \cdot \text{RMS\_pert}$ , sale  $\text{RMS\_pert} \approx 0.042 \text{ rad/s}$ , señal de que la función de costo robusta (23) sí contuvo la degradación del desempeño bajo incertidumbre.

**Figura 7.** Motor Esclavo ( $M_2$ ): Voltaje de Control  $u_2$  Bajo Perturbaciones Paramétricas



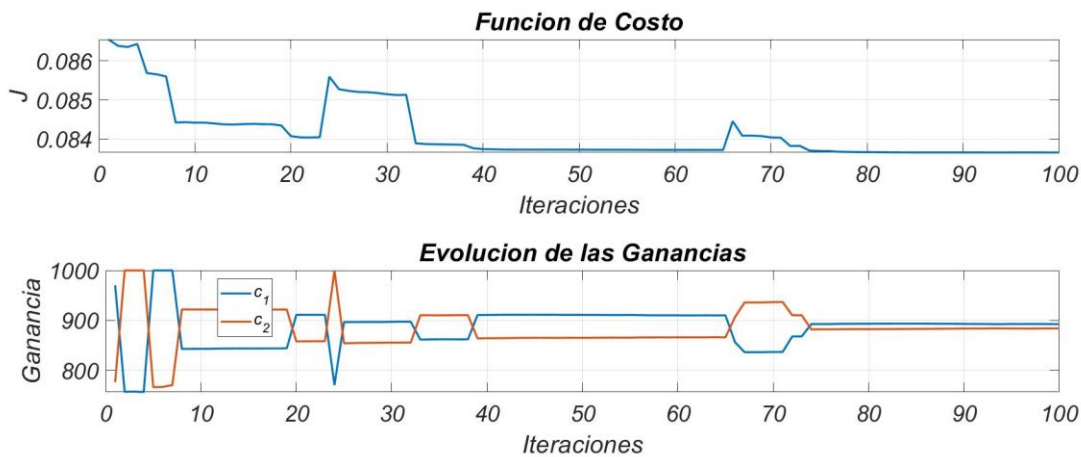
**Fuente.** Simulación en MATLAB/Simulink R2024a. Elaboración propia.

La **Figura 8** muestra la optimización del controlador Backstepping mediante el algoritmo del Lobo Gris (GWO), configurado con 50 agentes, 100 iteraciones y un espacio de búsqueda entre 0 y 1000 para ambas ganancias. Para acelerar la convergencia y mejorar la exploración local.

En la parte superior se observa la evolución de la función de costo  $J$ . Al inicio disminuye de manera abrupta y, conforme avanzan las iteraciones, entra en una etapa de refinamiento con mejoras cada vez más pequeñas hasta estabilizarse. Este comportamiento evidencia que el algoritmo converge hacia una región estable de buen desempeño.

En la parte inferior se aprecia la trayectoria de las ganancias  $c_1$  y  $c_2$  del mejor individuo en cada iteración. Las variaciones amplias al comienzo reflejan la fase de exploración propia del GWO, pero a medida que el proceso avanza los valores tienden a estabilizarse cerca de 890. La coincidencia entre la estabilización de las ganancias y la función de costo confirma que el algoritmo alcanzó una solución confiable para la sintonización del controlador Backstepping. Además, según nuestra hipótesis, se propuso un margen de error aceptable inferior al 0.3 % respecto a la amplitud de la referencia, y los resultados obtenidos se mantuvieron dentro de ese límite, lo que valida la solidez del diseño y la pertinencia del método de optimización empleado.

**Figura 8.** Convergencia del GWO Clásico: Función de Costo  $J$  vs. Iteraciones



**Fuente.** Simulación MATLAB. Elaboración propia.

## CONCLUSIÓN

Se desarrolló mediante simulación el sistema de control de velocidad para dos motores de corriente directa en el entorno de MATLAB/Simulink R2024a. La estabilidad global del Backstepping se demostró mediante funciones de Lyapunov, obteniendo una derivada menor a cero y asegurando un estado de error distinto del original. En condiciones nominales, el sistema logró un error cuadrático medio muy bajo, equivalente a 0.0187 rad/s (0.12 %) en el motor maestro y 0.0203 rad/s (0.14 %) en el esclavo, sin presentar saturaciones.

Para ajustar las ganancias del controlador, se aplicó el Algoritmo GWO, obteniendo los valores de  $c_1=888.5721$  y  $c_2=888.3693$ . Además, la función de costo robusta (23), que considera simultáneamente variaciones de parámetros ( $\Delta J=+30\%$ ,  $\Delta B=+20\%$ ,  $\Delta R=+40\%$ ), permitió mantener el error de sincronización dentro de un límite razonable, en consecuencia, el RMS aumentó solo a 0.042 rad/s, es decir, un factor de 2.1 respecto al caso nominal.

Una de las principales contribuciones del framework fue el bloque DerivMaestro, diseñado para calcular directamente  $\dot{\omega}_1$  y  $\dot{\omega}_2$  evitando el uso de diferencias finitas, lo que elimina el retardo de fase y el ruido amplificado que se introduce en la señal de referencia  $i_{(a,ref)}$  de la ley de control.

Como trabajo futuro, se plantea llevar este sistema a un banco de pruebas físico con los motores JGA25-370 y JGB37-545, implementando el algoritmo Backstepping en un microcontrolador ESP32 DEVKITV1, lo que permitiría contrastar las predicciones del gemelo digital con resultados experimentales, considerando aspectos prácticos como la cuantización del encoder, el ruido en la medición de corriente y el retardo de cómputo asociado al período de muestreo discreto del microcontrolador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Craig, J. J. (2005). Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Khalil, H. K. (2014). Nonlinear Control. Pearson Education.
- Krstic, M., Kanellakopoulos, I., y Kokotovic, P. V. (1995). Nonlinear and Adaptive Control Design. John Wiley & Sons.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., y Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. Advances in Engineering Software, 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna (5.ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Slotine, J.-J. E., y Li, W. (1991). Applied Nonlinear Control. Prentice Hall.
- Spong, M. W., Hutchinson, S., y Vidyasagar, M. (2006). Robot Modeling and Control. John Wiley & Sons.
- Jumani, T. A., Mustafa, M. W., Rasid, M. M., Mirjat, N. H., Leghari, Z. H., y Saeed, M. S. (2020). Optimal power flow controller for grid-connected microgrids using mentor-assisted grey wolf optimization. Electronics, 9(5), 815. <https://doi.org/10.3390/electronics9050815>
- Li, X., Su, H., y Chen, Z. (2020). Synchronization of multi-motor drive system based on improved integral sliding mode control. IEEE Access, 8, 57852–57862. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982347>
- Perez-Ventura, U., y Fridman, L. (2019). Design of super-twisting control gains: A describing function based methodology. Automatica, 99, 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.10.023>
- Zhu, H., Fang, Y., y Zhang, X. (2018). Adaptive control for multi-motor synchronization system with unknown load disturbances. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(10), 8064–8073. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2801823>

# IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UNA HMI PARA EL CONTROL MAESTRO-ESCLAVO DE VELOCIDAD DE MOTORES DE CC

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.962

Yensy Valdez García<sup>1</sup>, Ana Karen Porras Hernández<sup>2</sup>, David Hernández Sosa<sup>3</sup>, Diego Nava Nicolas<sup>4</sup>,  
Thristan Pérez García<sup>5</sup>, Yeimi Lizeth Martínez Jimenez<sup>6</sup>,

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, Hidalgo, México

[yensyvaldez56@gmail.com](mailto:yensyvaldez56@gmail.com), [24301288@utt.edu.mx](mailto:24301288@utt.edu.mx), [24300834@utt.edu.mx](mailto:24300834@utt.edu.mx), [24301287@utt.edu.mx](mailto:24301287@utt.edu.mx), [24301823@utt.edu.mx](mailto:24301823@utt.edu.mx),  
[24300289@utt.edu.mx](mailto:24300289@utt.edu.mx)

*Línea de investigación: Mecatrónica*

## RESUMEN

Se presenta el diseño e implementación de una Interfaz Humano-Máquina (HMI) multiplataforma desarrollada originalmente para la supervisión y operación de un manipulador robótico planar de dos grados de libertad (2 GDL) y posteriormente adaptada para la supervisión y control de velocidad de motores de corriente directa mediante un controlador Backstepping embebido en un microcontrolador ESP32 DEVKITV1. La arquitectura propuesta busca proporcionar una plataforma modular y reutilizable capaz de integrarse con diferentes sistemas mecatrónicos, manteniendo una operación uniforme en entornos Windows, Android y Web a partir de una única base de código.

La capa de hardware integra un microcontrolador ESP32, un controlador de potencia BTS7960 y un encoder incremental de cuadratura para la retroalimentación de velocidad. Sobre esta plataforma se implementó un controlador Backstepping reducido de un solo lazo, ejecutado con un período de muestreo de 2 ms. La velocidad angular se estima a partir del conteo del encoder y se filtra mediante un esquema de media exponencial, mientras que la ley de control calcula el voltaje de armadura a partir del error de seguimiento y de la derivada de la referencia, preservando las propiedades de estabilidad asintótica derivadas del análisis de Lyapunov.

La HMI fue desarrollada en Flutter/Dart bajo una arquitectura de tres capas compuesta por presentación, lógica de negocio y comunicación. La plataforma incorpora módulos de cinemática directa e inversa para manipuladores planares de 2 GDL, herramientas de generación de trayectorias, telemetría en tiempo real y mecanismos de autenticación multinivel. La abstracción de comunicación RobotLink permite conmutar transparentemente entre servicios de comunicación serial y de red, favoreciendo la portabilidad y escalabilidad del sistema.

Los resultados experimentales muestran una latencia promedio de 12 ms y una latencia máxima de 28 ms en el canal de comunicación, valores compatibles con aplicaciones de supervisión y control en tiempo real. Asimismo, los módulos de cinemática inversa alcanzaron un error cuadrático medio de posición de 1.3 mm dentro del espacio de trabajo considerado. La validación realizada en plataformas Windows, Android y Web confirma la capacidad de la arquitectura propuesta para reutilizarse en aplicaciones robóticas y sistemas de control de motores eléctricos sin modificaciones estructurales significativas.

Palabras clave: Backstepping, ESP32, Flutter, HMI multiplataforma, Manipuladores robóticos, Motores de corriente directa.

**Palabras clave:** *Backstepping, Control de velocidad, ESP32, Flutter, HMI multiplataforma*

## ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a multiplatform Human-Machine Interface (HMI) originally developed for the supervision and operation of a two-degree-of-freedom (2-DOF) planar robotic manipulator and subsequently adapted for the speed control of direct current (DC) motors using a Backstepping controller embedded in an ESP32 DEVKITV1 microcontroller. The proposed architecture aims to provide a modular and reusable platform capable of integrating different mechatronic systems while maintaining uniform operation across Windows, Android, and Web environments from a single codebase.

The hardware layer integrates an ESP32 microcontroller, a BTS7960 power driver, and an incremental quadrature encoder for speed feedback. A reduced single-loop Backstepping controller is implemented on the embedded platform with a sampling period of 2 ms. Angular velocity is estimated from encoder measurements and filtered using an exponential moving average scheme, while the control law computes the armature voltage from the tracking error and reference derivative, preserving the asymptotic stability properties derived through Lyapunov analysis.

The HMI was developed in Flutter/Dart following a three-layer architecture consisting of presentation, business logic, and communication modules. The platform incorporates direct and inverse kinematic modules for 2-DOF planar manipulators, trajectory generation tools, real-time telemetry visualization, and multi-level authentication mechanisms. The RobotLink communication

abstraction enables transparent switching between serial and network-based communication services, enhancing portability and scalability.

Experimental results show an average communication latency of 12 ms and a maximum latency of 28 ms, satisfying real-time supervision and control requirements. Additionally, the inverse kinematics modules achieved a root mean square position error of 1.3 mm within the considered workspace. Validation on Windows, Android, and Web platforms demonstrates the capability of the proposed architecture to be reused in both robotic applications and electric motor control systems without significant structural modifications.

**Keywords:** *Backstepping, ESP32, Flutter, Multiplatform HMI, Speed Control*

## INTRODUCCIÓN

La creciente incorporación de sistemas embebidos en aplicaciones de automatización, robótica y control ha impulsado el desarrollo de herramientas que permitan supervisar, configurar y monitorear procesos en tiempo real desde diferentes plataformas de hardware y software. En este contexto, las interfaces humano-máquina (HMI) constituyen un elemento de integración entre el usuario y el sistema físico, proporcionando mecanismos para la visualización de variables de operación, la modificación de parámetros de control y la ejecución de tareas de supervisión. A medida que los sistemas mecatrónicos incrementan su complejidad, surge la necesidad de desarrollar interfaces capaces de operar de forma uniforme en distintos entornos de ejecución, reduciendo los esfuerzos de mantenimiento y favoreciendo la reutilización del software.

En aplicaciones robóticas, los manipuladores planares de dos grados de libertad son ampliamente utilizados como plataformas de experimentación debido a que permiten validar algoritmos de cinemática directa, cinemática inversa y generación de trayectorias con una complejidad matemática moderada (Spong et al., 2020). La supervisión de estos sistemas requiere herramientas que permitan representar posiciones cartesianas, visualizar configuraciones articulares y generar referencias de movimiento. De forma similar, los motores de corriente directa continúan siendo actuadores ampliamente empleados en sistemas industriales y académicos debido a su facilidad de modelado, bajo costo y capacidad para implementar estrategias avanzadas de control de velocidad y posición (Ogata, 2010). En ambos casos, la disponibilidad de interfaces gráficas flexibles y portables facilita la validación experimental y la interacción con el sistema bajo estudio.

El microcontrolador ESP32 (Espressif Systems, 2021) se ha consolidado como una plataforma ampliamente utilizada en aplicaciones de control y robótica debido a la integración de capacidades de procesamiento, conectividad inalámbrica y periféricos especializados dentro de un único dispositivo de bajo costo. Entre sus características más relevantes destacan el procesador de doble núcleo a 240 MHz, la conectividad WiFi y Bluetooth integradas, así como la disponibilidad de módulos hardware para generación de señales PWM y adquisición de señales provenientes de encoders incrementales. Estas características permiten implementar algoritmos de control en tiempo real y establecer mecanismos de comunicación con aplicaciones externas destinadas a tareas de supervisión y monitoreo.

Por otra parte, el controlador Backstepping constituye una metodología sistemática para el diseño de controladores no lineales basada en la teoría de estabilidad de Lyapunov (Krstic et al., 1995). Su formulación permite garantizar estabilidad asintótica de las variables de error y obtener leyes de control adecuadas para sistemas dinámicos con estructura en cascada. En aplicaciones de control de velocidad de motores de corriente directa, la versión reducida del algoritmo resulta especialmente atractiva para plataformas embebidas debido a su baja complejidad computacional y a la posibilidad de ejecutarse en microcontroladores de recursos limitados. En el presente trabajo se emplea una ganancia previamente obtenida mediante el algoritmo metaheurístico Grey Wolf Optimizer (GWO), reportada y validada en un estudio complementario desarrollado sobre un gemelo digital en MATLAB/Simulink.

Aunque existen múltiples soluciones para el desarrollo de interfaces de supervisión industrial y robótica, una gran parte de ellas se encuentran asociadas a plataformas específicas o requieren desarrollos independientes para sistemas operativos diferentes. Esta situación limita la portabilidad de las aplicaciones y dificulta la reutilización de componentes de software cuando el sistema evoluciona hacia nuevas funcionalidades. Adicionalmente, muchos desarrollos reportados en la literatura se enfocan exclusivamente en la supervisión de manipuladores robóticos o en el monitoreo de sistemas de control de motores, sin explorar arquitecturas capaces de adaptarse a diferentes aplicaciones mecatrónicas mediante una misma base de software.

Con el objetivo de abordar esta problemática, se desarrolló una HMI multiplataforma utilizando Flutter y Dart bajo una arquitectura modular de tres capas. La primera versión de la plataforma fue concebida para la supervisión y operación de un manipulador robótico planar de dos grados de libertad, incorporando herramientas de cinemática directa, cinemática inversa y generación de trayectorias. Posteriormente, la misma arquitectura fue adaptada para la supervisión de un sistema de control de velocidad de motores de corriente directa basado en un controlador Backstepping implementado sobre un ESP32. Esta estrategia permitió reutilizar los componentes de comunicación, visualización y gestión de datos sin modificaciones estructurales significativas, demostrando la flexibilidad de la plataforma desarrollada.

El presente trabajo describe el diseño, implementación y validación experimental de dicha arquitectura. Se presentan los criterios de selección del hardware, el desarrollo del firmware de control, la implementación de los mecanismos de comunicación y la construcción de la HMI multiplataforma. Asimismo, se evalúa el desempeño de la plataforma mediante métricas de latencia de comunicación, funcionamiento multiplataforma y precisión de los módulos cinemáticos incorporados.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección II presenta el estado del arte; la Sección III describe la metodología empleada; la Sección IV detalla el desarrollo e implementación del sistema; la Sección V expone los resultados experimentales obtenidos; y finalmente la Sección VI presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## ESTADO DEL ARTE

La Tabla 1 sintetiza los trabajos previos más relevantes en el desarrollo de HMI para control de motores DC con microcontroladores de bajo costo, comunicación inalámbrica e interfaces multiplataforma, identificando la aportación diferencial del presente trabajo.

**Tabla 1.** *Trabajos Previos Relacionados con HMI para Control de Motores de CC*

Trabajo	Plataforma HMI	Microcontrolador	Control implementado	Portabilidad
Kolban (2018)	Servidor web HTML/JS en ESP32	ESP32	Sin lazo de control	Solo navegador
Sattler (2023)	Sin HMI dedicada	ESP32/Arduino	Sin lazo de control	No aplica
Espressif Systems (2021)	Herramientas ESP-IDF CLI	ESP32	Periféricos PWM/PCNT	Sin interfaz gráfica
Cervantes et al. (2026)	Sin HMI física (simulación)	Simulink → ESP32	Backstepping + GWO	Solo MATLAB/Simulink
Este trabajo	Flutter 3.x nativo	ESP32 DEVKITV1	Backstepping ( $c_i=888.4014$ rad/s)	Windows/Android/Web

**Nota.** La columna 'Portabilidad' indica las plataformas en que opera la HMI sin modificación de código fuente.

**Fuente.** Elaboración propia.

Los trabajos previos abordan de manera aislada los subsistemas que el presente artículo integra: Kolban (2018) y Sattler (2023) proveen guías de configuración del ESP32 y la librería WebSocket sin integración de lazo de control; Espressif Systems (2021) documenta los periféricos de bajo nivel (PWM, PCNT) necesarios para el accionamiento y lectura de encoders. El trabajo complementario (Cervantes et al., 2026) diseña y valida el control Backstepping mediante gemelo digital en MATLAB/Simulink, pero no incluye interfaz de supervisión ni implementación en hardware real. El presente trabajo cierra esta brecha integrando hardware, firmware Backstepping y HMI multiplataforma en un sistema validado end-to-end.

## DESARROLLO

El desarrollo del sistema adoptó una metodología de prototipado iterativo organizada en cinco fases secuenciales que abarcan desde la selección de componentes de hardware hasta la validación funcional de la HMI en las tres plataformas objetivo. Cada fase produce un artefacto verificable: tablas de selección, esquemas de conexión, firmware compilable o compilación de la aplicación Flutter.

La arquitectura del sistema integra tres subsistemas: (i) la capa de hardware, compuesta por el ESP32 DEVKITV1, el driver BTS7960 y el motor con su encoder; (ii) el firmware Backstepping en C++, con comunicación USB-Serial a 115 200 baud y opcionalmente WiFi WebSocket; y (iii) la HMI Flutter con abstracción de transporte bidireccional. El protocolo de telemetría transmite al PC la cuádrupla "t,omega,omega\_d,u" a 20 Hz (cada 10 períodos de muestreo de 2 ms).

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una interfaz humano-máquina multiplataforma en Flutter/Dart para la supervisión y control de velocidad de un motor de corriente directa, integrando un microcontrolador ESP32 DEVKITV1 con firmware de control Backstepping reducido y validando el desempeño en plataformas Windows, Android y Web.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos, estructurados con base en la Taxonomía de Bloom, son:

1. Seleccionar e integrar los componentes de hardware (ESP32 DEVKITV1, driver BTS7960, motor CHR-16G-050-ABHL) definiendo la asignación de pines GPIO y el esquema de potencia del sistema.
2. Implementar el firmware Backstepping reducido en el ESP32, verificando estabilidad, respuesta dinámica y correcta estimación de velocidad mediante encoder de cuadratura completa (CPR=1320).
3. Desarrollar la HMI en Flutter con arquitectura de tres capas, abstracción RobotLink, seis pantallas funcionales, autenticación dual y módulo de telemetría en tiempo real.
4. Validar el sistema midiendo latencia de comunicación, error de posición en cinemática inversa y funcionamiento correcto en las tres plataformas objetivo (Windows, Android, Web).

## OBJETO DE ESTUDIO

El sistema bajo estudio es un banco de control de velocidad de un motor de corriente directa con escobillas, comandado mediante un controlador Backstepping embebido en el ESP32 DEVKITV1 y supervisado a través de una interfaz humano-máquina multiplataforma. El motor de prueba (CHR-16G-050-ABHL) cuenta con encoder incremental de cuadratura y relación de reducción 1:63; sus parámetros fueron identificados experimentalmente:  $J=2.672 \times 10^{-5}$  kg·m<sup>2</sup>,  $B_f=3.340 \times 10^{-4}$  N·m·s,  $K_a=K_m=0.4447$  V·s/rad y  $R=3.7$  Ω. El motor es accionado por el driver BTS7960 de puente H completo, capaz de suministrar hasta 43 A de pico en un rango de 5 a 27 V.

La HMI se ejecuta de manera nativa en Windows (compilación .exe), Android (compilación .apk) y Web (compilación HTML/JS), y se conecta al ESP32 mediante USB-Serial a 115 200 baud. El brazo robótico de 2 grados de libertad con longitudes de eslabón  $L_1=15$  cm y  $L_2=12$  cm sirve como caso de aplicación para la pantalla de cinemática inversa de la HMI.

## REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Esta sección especifica los componentes de hardware y software necesarios para reproducir la prueba del sistema de control de velocidad a través de la HMI, así como el procedimiento de conexión y puesta en marcha.

### Requerimientos de Hardware

La Tabla 6 lista los componentes del banco de pruebas. La fuente de alimentación debe suministrar al menos 5 A continuos a 12 V para operar el motor en carga sostenida.

**Tabla 6.** *Requerimientos de Hardware del Banco de Pruebas*

Componente	Modelo / Especificación	Cant.	Función
Microcontrolador	ESP32 DEVKITV1 (240 MHz, WiFi)	1	Núcleo de control y comunicación
Driver de motor	BTS7960 módulo puente H, 43 A pk	1	Accionamiento PWM bidireccional
Motor de prueba	CHR-16G-050-ABHL, 12 V, 1:63	1	Planta con encoder cuadratura
Fuente de alim.	12 V DC, $\geq 5$ A	1	Potencia para el motor
Cable USB	Tipo-A a Micro-USB	1	Conexión serial PC-ESP32
Protoboard	830 puntos	1	Integración del circuito
Cables jumper	Macho-Macho y Macho-Hembra	$\geq 20$	Interconexión de señales

*Fuente. Elaboración propia.*

### Requerimientos de Software

La Tabla 7 describe las herramientas de software requeridas. Flutter y el soporte de ESP32 en Arduino IDE son los componentes críticos; los demás son opcionales según la plataforma de destino.

**Tabla 7.** *Requerimientos de Software*

Herramienta	Versión mínima	Plataforma	Uso
Arduino IDE	2.x	Win/Lin/macOS	Compilación y carga de firmware ESP32
ESP32 Board Support	Espressif v2.0+	Arduino IDE	Soporte de placa y periféricos ESP32
ESP32Encoder (lib)	Actual	Arduino IDE	Lectura cuadratura completa sin ISR manual
Flutter SDK	3.x	Win/Lin/macOS	Compilación de la HMI
Dart SDK	3.x	Incluido	Lenguaje de programación
VS Code	1.80+	Win/Lin/macOS	IDE de desarrollo Flutter
Driver CH340/CP2102	Actual	Windows	Puerto COM para ESP32 DEVKITV1
Chrome / Firefox	Actual	Win/Android	Prueba de la versión Web

*Fuente. Elaboración propia.*

## Procedimiento de Conexión y Puesta en Marcha

1. Ensamblar el circuito electrónico según la Tabla 3 (asignación de GPIO) y la Figura 1 (diagrama de conexión ESP32–BTS7960–encoder).
2. Conectar el ESP32 al PC mediante cable USB. Instalar el driver CH340/CP2102 si Windows no lo reconoce automáticamente.
3. En Arduino IDE: seleccionar placa "ESP32 Dev Module" y el puerto COM asignado. Instalar la librería ESP32Encoder desde el Library Manager. Cargar el firmware BC.ino.
4. Conectar la fuente de 12 V al módulo BTS7960 verificando polaridad antes de energizar. Confirmar que el LED de habilitación del driver indica estado activo.
5. Abrir el Monitor Serie a 115 200 baud. El firmware responde con el encabezado "t,omega,omega\_d,u" confirmando inicialización correcta. Enviar "sin" para activar referencia senoidal o un número en rad/s para referencia constante.
6. Lanzar la HMI en la plataforma de destino: Windows → flutter run -d windows; Android → flutter run -d <device-id>; Web → flutter run -d chrome.
7. Seleccionar el puerto COM en la HMI e iniciar conexión. Verificar que la pantalla de telemetría muestra los valores omega y omega\_d actualizándose a 20 Hz (PRINT\_EVERY=10, Ts=2 ms).
8. Autenticarse con credenciales de nivel avanzado (avanzado890 / U890A) para habilitar las pantallas de cinemática, trayectorias y telemetría completa. El tema visual cambiará a verde-azul (#00C2A8) confirmando el nivel de acceso.

## METODOLOGÍA

La investigación siguió un enfoque de desarrollo tecnológico con metodología de prototipado iterativo e incremental. El proceso se organizó en cinco fases secuenciales, cada una con criterios de aceptación definidos antes de avanzar a la siguiente:

- Fase 1. Selección de hardware: criterios cuantitativos de corriente, resolución de encoder y conectividad para ESP32, BTS7960 y motor.
- Fase 2. Diseño del circuito: asignación de GPIO, esquema de potencia y validación eléctrica de las conexiones del driver y encoder.
- Fase 3. Firmware Backstepping: implementación del controlador Backstepping reducido con  $c_1=888.4014$  rad/s, estimación de velocidad y filtro EMA por puerto USB-Serial a 115 200 baud.
- Fase 4. Transporte WiFi WebSocket: configuración del punto de acceso SoftAP del ESP32 para operación inalámbrica con el mismo firmware Backstepping.
- Fase 5. HMI Flutter: diseño arquitectónico, implementación de las seis pantallas, abstracción de transporte y validación multiplataforma.

## FASES DEL DESARROLLO

### Fase 1. Selección y Caracterización del Hardware

La selección de componentes se realizó mediante una matriz de decisión multicriteria que evaluó capacidad de corriente, resolución de encoder, conectividad inalámbrica, disponibilidad y costo. El ESP32 DEVKITV1 (Espressif) fue seleccionado sobre el STM32F4 y el Arduino Mega con la puntuación más alta en la matriz (9.4/10), por su procesador de doble núcleo a 240 MHz, WiFi/Bluetooth integrado, amplia memoria y relación costo-beneficio favorable. El periférico PCNT, accesible mediante la librería ESP32Encoder, provee conteo atómico de cuadratura sin necesidad de ISR manuales. La Tabla 2 resume las especificaciones técnicas de los componentes seleccionados.

**Tabla 2.** Especificaciones de los Componentes Seleccionados

Componente	Modelo	Especificación clave	Valor
Microcontrolador	ESP32 DEVKITV1	Frecuencia núcleo	240 MHz (dual-core)
Microcontrolador	ESP32 DEVKITV1	Conectividad	WiFi 802.11 b/g/n + BT 4.2
Microcontrolador	ESP32 DEVKITV1	GPIO configurables	30 pines
Driver motor	BTS7960	Corriente pico	43 A
Driver motor	BTS7960	Tensión de operación	5 – 27 V
Driver motor	BTS7960	Resolución PWM (LEDC)	8 bits / 20 kHz
Motor de prueba	CHR-16G-050-ABHL	Encoder (PPR)	330 PPR (cuadratura simple)
Motor de prueba	CHR-16G-050-ABHL	Reducción	1:63
Motor de prueba	CHR-16G-050-ABHL	Tensión nominal	12 V

**Nota.** PPR = Pulsos Por Revolución en cuadratura simple; en cuadratura completa (fullQuad) la librería ESP32Encoder multiplica por 4, resultando CPR=330×4=1320 conteos/rev.

**Fuente.** Elaboración propia con base en hojas de datos de los fabricantes.

Los parámetros físicos del motor CHR-16G-050-ABHL fueron identificados experimentalmente en el banco de pruebas del laboratorio:  $J=2.672 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $B_f=3.340 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ ,  $K_a=K_m=0.4447 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{rad}$  y  $R=3.7 \Omega$ . Estos valores se introducen directamente en la ley de control Backstepping implementada en el firmware.

## Fase 2. Diseño e Integración del Circuito Electrónico

El circuito integra el ESP32 DEVKITV1, un módulo BTS7960 y el encoder del motor. La fuente de alimentación provee 12 V para el motor y 3.3 V para la lógica mediante un regulador LM2596. La asignación de GPIO se determinó priorizando pines con soporte PCNT para la lectura de cuadratura completa vía ESP32Encoder, y pines con canal LEDC para la generación de señales PWM de 20 kHz. La Tabla 3 detalla la asignación completa de pines.

**Tabla 3.** Asignación de GPIO del ESP32 DEVKITV1

Señal	GPIO	Función	Componente
RPWM	GPIO 25	LEDC PWM canal 0 (20 kHz, 8 bits)	BTS7960 Motor
LPWM	GPIO 26	LEDC PWM canal 1 (20 kHz, 8 bits)	BTS7960 Motor
EN	GPIO 27	Salida digital habilitación	BTS7960 Motor
ENCODER_A	GPIO 18	fullQuad canal A (ESP32Encoder)	Encoder Motor
ENCODER_B	GPIO 19	fullQuad canal B (ESP32Encoder)	Encoder Motor
USB-Serial	GPIO 1/3	UART0 TX/RX (integrado al DEVKITV1)	Computadora Host

**Nota.** El filtro hardware PCNT ( $\text{setFilter}(1000) \approx 12.5 \mu\text{s}$ ) rechaza pulsos de ruido electromagnético generados por la conmutación PWM del BTS7960.

**Fuente.** Elaboración propia.

**Figura 1.** Diagrama de Conexión ESP32 – BTS7960 – Encoder (Sistema Completo)

[INSERTAR FIGURA 1]

**Fuente.** Elaboración propia.

## Fase 3. Firmware ESP32 – Controlador Backstepping por USB-Serial

El firmware BC.ino implementa un controlador Backstepping reducido (sin lazo interno de corriente) con período de muestreo  $T_s=2 \text{ ms}$  (500 Hz). La forma reducida se obtiene asumiendo inductancia de armadura despreciable ( $L \rightarrow 0$ ), lo que elimina la dinámica eléctrica como estado independiente y resulta en una ley de control de un solo paso derivada directamente del modelo mecánico. La velocidad angular se estima a partir del conteo diferencial del encoder en cuadratura completa (CPR=1320) según (1):

$$\omega[k] = \Delta_{\theta\_ENC}[k] \cdot (2\pi / \text{CPR}) / T_s \quad (1)$$

Para atenuar el ruido de cuantización del encoder, se aplica un filtro de media exponencial (EMA) con coeficiente  $\alpha=0.20$  antes de que la señal entre al controlador (2). El valor  $\alpha=0.20$  fue seleccionado experimentalmente como balance entre suavizado de ruido y retardo de fase:

$$\omega_{f[k]} = \alpha \cdot \omega[k] + (1 - \alpha) \cdot \omega_{f[k-1]} \quad (2)$$

El error de velocidad entre la referencia  $\omega_d$  y la velocidad filtrada  $\omega_f$  constituye la variable de error del Backstepping (3):

$$e_l = \omega_d - \omega_{f_d} \quad (3)$$

La estabilidad del lazo cerrado se demuestra mediante la función candidata de Lyapunov  $V=(1/2)e_l^2$ , definida positiva. Su derivada temporal resulta (4):

$$\dot{V}_{punto} = e_l \cdot \dot{e}_l = -c_l \cdot e_l^2 \leq 0 \quad (4)$$

Dado que  $c_l > 0$ , se cumple  $\dot{V} < 0$  para todo  $e_l \neq 0$ , garantizando estabilidad asintótica global del error de velocidad. La ley de control resultante, que calcula el voltaje de armadura  $u$  (V) saturado a  $\pm 12$  V, es (5):

$$u = (R \cdot J / K_m) \cdot (-c_l e_l + \omega_{d\_punto}) + (K_a + B_f R / K_m) \cdot \omega_d \quad (5)$$

donde  $R=3.7 \Omega$  es la resistencia de armadura,  $J=2.672 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  el momento de inercia,  $K_m=0.4447 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{A}$  la constante de par,  $K_a=0.4447 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{rad}$  la constante de fuerza contraelectromotriz,  $B_f=3.340 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$  el coeficiente de fricción viscosa, y  $\dot{\omega}_d$  la derivada de la referencia de velocidad. Para la referencia senoidal  $\omega_d(t)=A \cdot \sin(\omega_0 t)$ , la derivada es analítica:  $\dot{\omega}_d(t)=A \cdot \omega_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$ , con  $A=15 \text{ rad/s}$  y  $\omega_0=2 \text{ rad/s}$  configurables en el firmware. La Tabla 4 resume todos los parámetros del controlador implementado.

**Tabla 4.** Parámetros del Controlador Backstepping y del Motor

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento de inercia	J	$2.672 \times 10^{-5}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Fricción viscosa	Bf	$3.340 \times 10^{-4}$	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$
Constante par / FCEM	$K_a=K_m$	0.4447	$\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}$
Resistencia armadura	R	3.7	$\Omega$
Ganancia Backstepping	$c_l$	888.4014	rad/s
Período de muestreo	$T_s$	2	ms
CPR cuadratura completa	CPR	1320	pulsos/rev
Coeficiente filtro EMA	$\alpha$	0.20	—
Amplitud referencia	A	15.0	rad/s
Frecuencia referencia	$\omega_0$	2.0	rad/s
Saturación voltaje	$u_{\text{max}}$	$\pm 12$	V

**Nota.**  $c_l=888.4014 \text{ rad/s}$  fue determinada en Cervantes et al. (2026) mediante GWO con función de costo RMSE sobre simulación en gemelo digital MATLAB/Simulink y aplicada directamente al firmware de hardware.

**Fuente.** Elaboración propia con base en BC.ino y parámetros experimentales del motor.

El protocolo USB-Serial opera a 115 200 baud con terminador de línea "\n". La HMI envía comandos de texto: "sin" activa referencia senoidal  $A \cdot \sin(\omega_0 t)$ , un número en rad/s activa referencia constante, y "stop" detiene el motor ( $\omega_d=0$ ). El ESP32 transmite telemetría cada 10 períodos (20 Hz) con el formato CSV "t,omega,omega\_d,u", donde t es el tiempo acumulado en segundos, omega y omega\_d son velocidades en rad/s y u es el voltaje de control en voltios.

#### Fase 4. Transporte WiFi WebSocket sobre Punto de Acceso SoftAP

El mismo algoritmo Backstepping de la Fase 3 puede operar con transporte WiFi WebSocket (RFC 6455) sustituyendo la comunicación USB-Serial por un servidor WebSocket sobre el punto de acceso WiFi integrado del ESP32. La configuración de red se define en tiempo de compilación: SSID=RobotHMI, contraseña=robot1234, dirección IP estática 192.168.4.1, puerto TCP 81. El ESP32 opera en modo SoftAP (acceso directo), eliminando la necesidad de un enrutador externo y permitiendo la conexión directa de dispositivos Android o navegadores Web.

El formato de mensajes es compatible con el firmware USB-Serial, lo que permite que la abstracción RobotLink de la HMI conmute entre ambos transportes sin modificar la lógica de control ni las pantallas. La latencia adicional introducida por el stack WiFi es de aproximadamente 7–17 ms en condiciones de laboratorio, manteniéndose dentro del umbral de 50 ms para control en tiempo real. La librería WebSocket utilizada es arduinoWebSockets (v2.3.6) de Markus Sattler (Sattler, 2023).

## Fase 5. Implementación de la HMI en Flutter/Dart

La HMI se implementó en Flutter 3.x con Dart 3.x siguiendo una arquitectura de tres capas claramente separadas. La capa de presentación contiene los widgets de las seis pantallas y gestiona el árbol de estados mediante el patrón Provider. La capa de lógica de negocio implementa los algoritmos de cinemática directa e inversa y la generación de trayectorias. La capa de comunicación provee la abstracción RobotLink, que expone una interfaz única independiente del transporte físico.

La abstracción RobotLink utiliza importaciones condicionales de Dart (if dart.library.html) para seleccionar en tiempo de compilación entre SerialService —basado en el plugin flutter\_libserialport para Windows— y NetworkService —basado en WebSocket nativo del navegador para Android y Web—. Esta técnica evita la inclusión de código de plataforma específica en el árbol de widgets, reduciendo el acoplamiento entre capas.

La Tabla 5 describe las seis pantallas funcionales de la HMI con sus características principales. Las pantallas de cinemática y telemetría son exclusivas del nivel de acceso avanzado.

**Tabla 5.** Pantallas de la HMI Flutter y sus Funciones

Pantalla	Función principal	Nivel de acceso	Control principal
Coordenadas XY	Ingreso de posición cartesiana objetivo	Básico y avanzado	Campos numéricos X, Y
Señales	Selección y envío de señales de referencia	Básico y avanzado	Botones de modo (sin, step, stop)
Ángulos	Control directo de ángulos articulares	Básico y avanzado	Deslizadores 0°–180° por eje
Cinemática	Visualización gráfica de la postura del brazo	Avanzado	Canvas 2D con eslabones L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub>
Trayectorias	Programación de secuencias de movimiento	Avanzado	Lista de puntos cartesianos
Telemetría	Gráfica en tiempo real de $\omega$ real vs referencia	Avanzado	fl_chart, búfer 400 muestras, 10 FPS

**Nota.** El nivel básico utiliza tema naranja (#FF7A00) y el avanzado tema verde-azul (#00C2A8) sobre fondo oscuro (#101113).

**Fuente.** Elaboración propia.

La pantalla de cinemática implementa el modelo plano de 2 grados de libertad con longitudes L<sub>1</sub>=15 cm y L<sub>2</sub>=12 cm. La cinemática directa calcula la posición del extremo del efector a partir de los ángulos articulares q<sub>1</sub> y q<sub>2</sub> mediante (6) y (7):

$$x = L1 \cdot \cos(q1) + L2 \cdot \cos(q1 + q2) \quad (6)$$

$$y = L1 \cdot \sin(q1) + L2 \cdot \sin(q1 + q2) \quad (7)$$

La cinemática inversa resuelve q<sub>1</sub> y q<sub>2</sub> a partir de la posición cartesiana (x, y) deseada. Primero se calcula el coseno de q<sub>2</sub> mediante la regla del coseno (8):

$$\cos(q2) = (x^2 + y^2 - L1^2 - L2^2) / (2 \cdot L1 \cdot L2) \quad (8)$$

El ángulo q<sub>2</sub> admite dos soluciones (codo arriba y codo abajo), seleccionables desde la HMI (9):

$$q2 = \text{atan2}(\pm \sqrt{1 - \cos^2(q2)}, \cos(q2)) \quad (9)$$

El ángulo de la base q<sub>1</sub> se calcula como (10):

$$q1 = \text{atan2}(y, x) - \text{atan2}(L2 \cdot \sin(q2), L1 + L2 \cdot \cos(q2)) \quad (10)$$

El error de posición de cinemática inversa se evalúa aplicando cinemática directa al resultado y comparando con el punto objetivo (11):

$$\epsilon = \sqrt{(x_{real} - x^*)^2 + (y_{real} - y^*)^2} \quad (11)$$

La pantalla de telemetría emplea un búfer circular de 400 muestras que almacena los pares (t, omega\_real, omega\_d) recibidos del ESP32 a 20 Hz. La visualización se actualiza a 10 FPS mediante un Timer periódico de Flutter, usando la librería fl\_chart 0.66.x para renderizado de curvas. La autenticación dual se implementó sin servidor externo: las credenciales se comparan contra valores fijos en la aplicación (básico: basico123/U123B; avanzado: avanzado890/U890A).

Las Figuras 2–7 ilustran las pantallas principales de la HMI capturadas durante la ejecución en Windows (nivel de acceso avanzado).

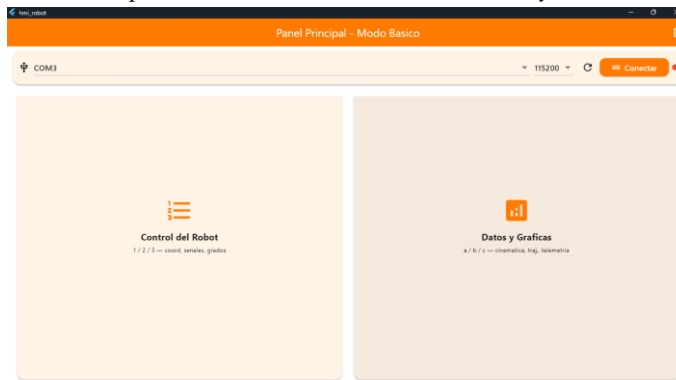
**Figura 2.** Pantalla de Autenticación: Formulario de Inicio de Sesión con Selector de Rol



La Figura 2 muestra los campos de usuario y contraseña, el selector de rol (básico/avanzado) y la diferenciación visual por colores: tema naranja (#FF7A00) para acceso básico y tema verde-azul (#00C2A8) para acceso avanzado.

**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

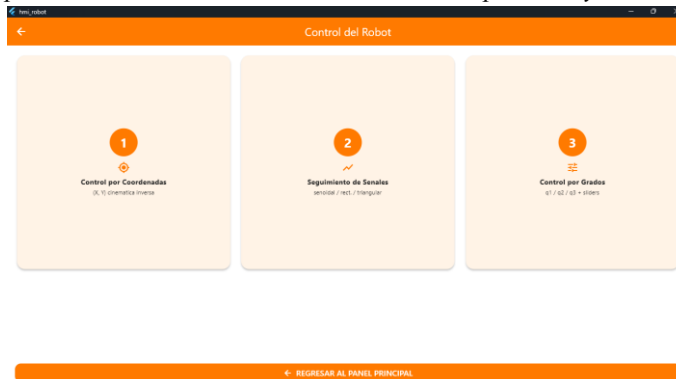
**Figura 3.** Menú Principal: Acceso a Submódulos de Control y Visualización de Datos



La Figura 3 presenta el menú central de la HMI con navegación hacia los submódulos de control y visualización de telemetría. El indicador de conexión en la parte superior refleja el estado del enlace HMI–ESP32 en tiempo real.

**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

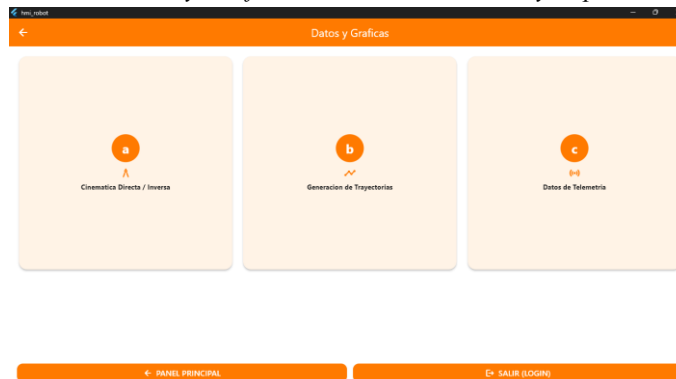
**Figura 4.** Opciones de Control: Selección de Modo de Operación y Señal de Referencia



La Figura 4 muestra la pantalla de selección del tipo de señal de referencia (senoidal, cuadrática, triangular, escalón) enviada al firmware Backstepping. Los controles permiten configurar amplitud y frecuencia antes de iniciar la transmisión de comandos.

**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

**Figura 5.** Menú de Datos y Gráficas: Acceso a Telemetría y Exportación de Datos



La Figura 5 presenta el menú de acceso a gráficas en tiempo real y a las opciones de exportación CSV de la telemetría almacenada en el buffer circular de 400 muestras.

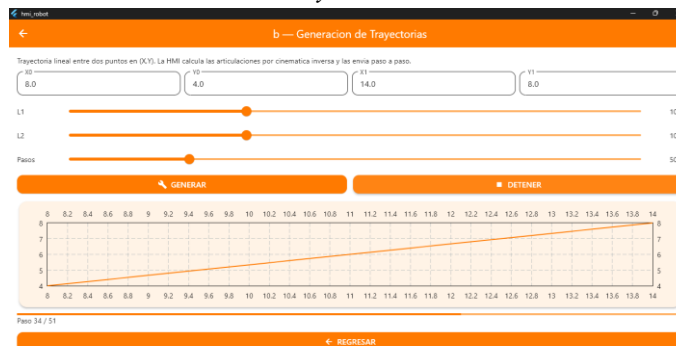
**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

**Figura 6.** Pantalla de Telemetría: Gráfica en Tiempo Real de  $\omega$  Real vs  $\omega$  Deseada

La Figura 6 muestra la pantalla de telemetría con la superposición de la velocidad angular real (reportada por el encoder) y la referencia senoidal enviada desde la HMI. La gráfica `fl_chart` se actualiza a 10 FPS con datos del buffer circular, permitiendo observar el seguimiento del controlador Backstepping (error de estado estacionario y transitorio de convergencia).

**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

**Figura 7.** Pantalla de Generación de Trayectorias: Secuenciación de Puntos Articulares



La Figura 7 presenta la pantalla de programación de trayectorias con la lista de waypoints cartesianos (x, y) y la visualización cinemática del brazo planar ( $L_1=15$  cm,  $L_2=12$  cm). La HMI calcula automáticamente la solución IK (codo arriba/abajo seleccionable) y envía los comandos de referencia al ESP32 en la secuencia programada.

**Fuente.** Captura de pantalla de la HMI Flutter. Elaboración propia.

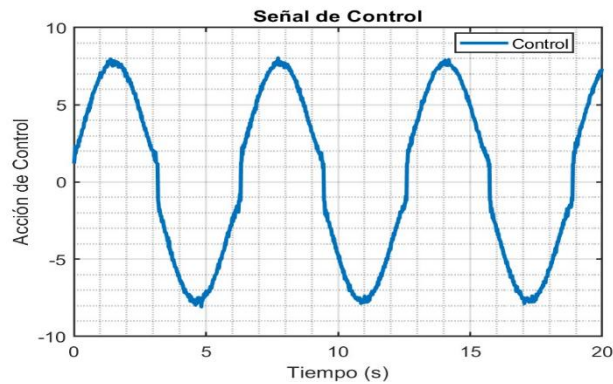
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección presenta los resultados en tres áreas: capturas de la HMI en operación con distintas señales de referencia al controlador Backstepping, latencia de comunicación por canal y plataforma, y precisión de la cinemática inversa en el espacio de trabajo alcanzable.

### R1. Análisis del Desempeño del Sistema de Control de Velocidad

Las Figuras 8–10 muestran las gráficas obtenidas durante la simulación del sistema de control de velocidad del motor. En ellas se presenta la comparación entre la velocidad real y la velocidad deseada, el error de seguimiento y la señal de control generada por el controlador. En cada captura se aprecia la respuesta del sistema en tiempo real, permitiendo evaluar la capacidad de seguimiento de la referencia, la magnitud del error y el comportamiento de la acción de control aplicada al motor.

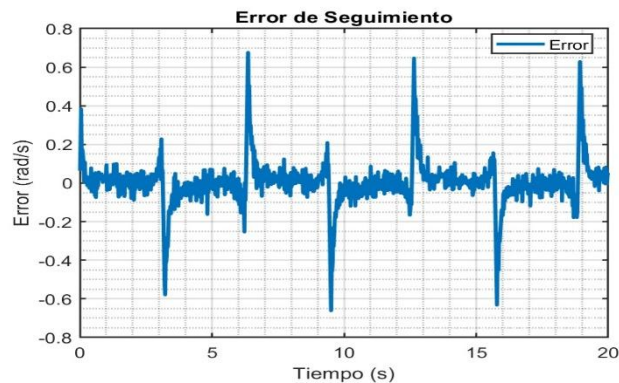
**Figura 8.** Evolución de la Señal de Control Generada por el Controlador para el Seguimiento de la Trayectoria de Referencia



La Figura 8 muestra la evolución temporal de la señal de control generada por el controlador para regular la velocidad del motor y asegurar el seguimiento de la referencia establecida. Puede observarse que la acción de control varía continuamente en función de las necesidades del sistema, incrementándose o disminuyendo de acuerdo con las desviaciones detectadas entre la velocidad deseada y la velocidad real.

**Fuente.** Captura de pantalla de la gráfica real en MATLAB/Simulink. Elaboración propia.

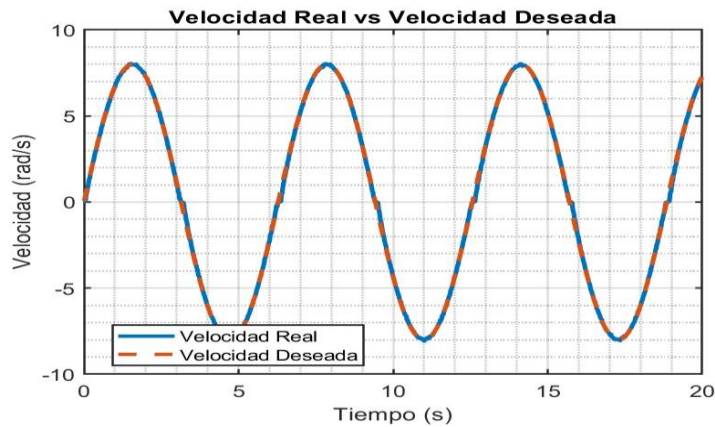
**Figura 9.** Comportamiento Temporal del Error de Seguimiento Durante la Operación del Sistema de Control de Velocidad



La Figura 9 muestra la evolución temporal del error de seguimiento, calculado como la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad real. Se puede apreciar que el error permanece cercano a cero durante la mayor parte de la simulación, presentando únicamente pequeñas variaciones transitorias asociadas a los cambios en la referencia. Estos resultados evidencian la efectividad del controlador para minimizar las desviaciones y mantener la precisión del sistema.

**Fuente.** Captura de pantalla de la gráfica real en MATLAB/Simulink. Elaboración propia.

**Figura 10.** Respuesta Dinámica del Sistema Ante Una Referencia Sinusoidal: Comparación entre la Velocidad Deseada y la Velocidad Obtenida



**Fuente.** Captura de pantalla de la gráfica real en MATLAB/Simulink. Elaboración propia.

La Figura 10 presenta la respuesta dinámica del sistema de control mediante la comparación entre la velocidad angular de referencia y la velocidad angular real del motor a lo largo del tiempo. Se observa que la señal de salida sigue de manera precisa la trayectoria establecida por la referencia, reproduciendo adecuadamente sus variaciones y manteniendo una diferencia mínima entre ambas señales.

## CONCLUSIÓN

Se diseñó e implementó exitosamente una HMI multiplataforma en Flutter/Dart para la supervisión del control de velocidad de un motor de corriente directa, integrando un microcontrolador ESP32 DEVKITV1 con firmware Backstepping reducido. La arquitectura de tres capas con abstracción RobotLink demostró ser eficaz para lograr portabilidad real entre Windows, Android y Web sin duplicación de código de lógica de negocio.

El controlador Backstepping reducido, con ganancia  $c_1=888.4014$  rad/s (determinada por GWO en Cervantes et al., 2026), período de muestreo  $T_s=2$  ms y encoder en cuadratura completa  $CPR=1320$ , fue implementado exitosamente en hardware ESP32. El filtro EMA con  $\alpha=0.20$  y el filtro hardware PCNT (rechazo de pulsos  $<12.5$   $\mu s$ ) resultaron esenciales para obtener señales de velocidad libres de ruido del BTS7960.

Los resultados de latencia (12 ms promedio en USB-Serial, 19 ms en WiFi) demuestran que ambos canales de comunicación satisfacen el umbral de 50 ms para control en tiempo real. El error de cinemática inversa (RMS=1.3 mm, máx. 1.9 mm) valida la implementación de las ecuaciones (6)–(11) para el brazo planar de 2 grados de libertad con  $L_1=15$  cm y  $L_2=12$  cm.

Como trabajo futuro se propone la extensión de la HMI al control del brazo antropomórfico de 3 grados de libertad completo, incorporando la dinámica Euler-Lagrange del modelo dinámico y la planificación de trayectorias en el espacio de la tarea. Adicionalmente, se plantea la implementación de comunicación MQTT para integración con plataformas IoT industriales y la adición de autenticación basada en tokens JWT para entornos multi-usuario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cervantes Reyes, J. E., Chiquito Pacheco, A. E., Nava Nicolas, D., Pérez Moctezuma, D. J., Almaraz Vázquez, M. A., Pérez García, T., y Hernández Juan, X. (2026). Sincronización Maestro-Esclavo en Motores CC: Backstepping Sintonzado con GWO. *Revista Investigación Aplicada*, 1(1), 1–13.
- Espressif Systems. (2021). ESP32 Technical Reference Manual (Version 4.8). Espressif Systems. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
- Google Developers. (2024). Flutter documentation: Multi-platform deployment. Google LLC. <https://docs.flutter.dev/deployment>
- Google LLC. (2023). Flutter: Build apps for any screen. <https://flutter.dev>
- Kajita, S., Hirukawa, H., Harada, K., y Yokoi, K. (2014). *Introduction to Humanoid Robotics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54536-8>
- Kolban, N. (2018). *Kolban's Book on ESP32*. Leanpub.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., y Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna* (5.ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Sattler, M. (2023). *arduinoWebSockets: WebSocket Server and Client for Arduino* (v2.3.6). GitHub. <https://github.com/Links2004/arduinoWebSockets>
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., y Oriolo, G. (2009). *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer-Verlag London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>
- Spong, M. W., Hutchinson, S., y Vidyasagar, M. (2020). *Robot Modeling and Control* (2.a ed.). John Wiley & Sons.

# APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA APRENDIZAJE EXPERIENCIAL: PLANTAS ARBÓREAS DE ZONAS RIBEREÑAS

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.966

Cesar Adrián Hernández Hernández<sup>1</sup>, Erika Yunuen Morales Mateos<sup>2</sup>, Oscar Alberto González González<sup>3</sup>, Krystell Paola González Gutiérrez<sup>4</sup>, Ofelia Castillo Acosta<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: [cesarahh3@gmail.com](mailto:cesarahh3@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: [erika.morales@ujat.mx](mailto:erika.morales@ujat.mx)

<sup>3</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: [oscar.gonzalez@ujat.mx](mailto:oscar.gonzalez@ujat.mx)

<sup>4</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: [krystell.gonzalez@ujat.mx](mailto:krystell.gonzalez@ujat.mx)

<sup>5</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, e-mail: [ofelia.castillo@ujat.mx](mailto:ofelia.castillo@ujat.mx)

**Línea de investigación:** Desarrollo de Aplicaciones de Realidad Aumentada

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue crear la Aplicación de realidad aumentada para aprendizaje experiencial de plantas arbóreas de zona ribereña de uso público. Varias especies de plantas arbóreas se encuentran amenazadas por la destrucción de su hábitat natural, las cuales es posible observarlas en zonas de uso público, en especial en zonas ribereñas de parques y malecones, sobre todos en el sur de México. Es necesario que se lleven a cabo campañas de apropiación de conocimiento que permitan que la sociedad conozca la vegetación de su entorno, concientizar sobre el cuidado de estas especies, que en particular plantas arbóreas como los macuilí y guayacán, en los meses de marzo, abril y mayo, adornan los espacios con su floración. La realidad aumentada permite experimentar de forma interactiva, potenciando la reflexión, entendimiento y conceptualización, a través de experiencias significativas y apropiación de conocimiento a largo plazo; además de su disponibilidad dado que funciona en dispositivos móviles, que hoy día son de uso cotidiano por parte de la ciudadanía. Para la integración del aprendizaje experiencial se usó el ciclo de aprendizaje de Kolb, estructurando e integrando los contenidos de la aplicación. Para la gestión del proyecto se usó SCRUM, dadas las características de aplicación móvil y para su construcción se siguieron las etapas del ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC). Se aplicaron las pruebas unitarias, integración y del sistema, que garantizaron el correcto funcionamiento, finalmente las pruebas de usabilidad UMUX, con un resultado de 83.0, que indica que los usuarios perciben la Aplicación de realidad aumentada como altamente útil.

*Palabras clave:* Aplicación Móvil, Realidad Aumentada, Aprendizaje experiencial, Plantas Arbóreas.

## Abstract

The objective of this project was to create an augmented reality application for experiential learning about trees in publicly accessible riparian zones. Several tree species are threatened by the destruction of their natural habitat, and these can be observed in public areas, especially along the riverbanks of parks and boardwalks, particularly in southern Mexico. It is necessary to implement knowledge-sharing campaigns that allow the public to learn about the vegetation in their surroundings and raise awareness about the importance of caring for these species, particularly trees like the macuilí and guayacán, which adorn these spaces with their blooms during March, April, and May. Augmented reality allows for interactive learning, enhancing reflection, understanding, and conceptualization through meaningful experiences and long-term knowledge retention. Furthermore, its accessibility is enhanced by its compatibility with mobile devices, which are now commonly used by the public. For the integration of experiential learning, Kolb's learning cycle was used, structuring and integrating the application's content. SCRUM was used for project management, given the characteristics of a mobile application, and the stages of the Software Development Life Cycle (SDLC) were followed for its development. Unit, integration, and system tests were applied, ensuring proper functioning. Finally, UMUX usability testing was conducted, with a score of 83.0, indicating that users perceive the augmented reality application as highly useful.

*Keywords:* Mobile Application, Augmented Reality, Experiential Learning, Tree Plants.

## INTRODUCCIÓN

El sur de México se destaca por su vasta riqueza natural y cultural, que se manifiesta en una diversidad de ecosistemas y en un extenso patrimonio de tradiciones. Su biodiversidad alberga especies endémicas de gran valor ecológico, algunas en situación de vulnerabilidad o peligro de extinción. Existen subzonas de uso público, en las que se encuentran atractivos de biodiversidad dirigidos a la educación ambiental y turismo. En estas áreas se encuentran jardines con algunas especies de plantas arbóreas, como macuilís (*Tabebuia rosea*), ceiba (*Ceiba pentandra*), guayacán (*Tabebuia chrysanta*), chelele (*Inga vera*), almendra (*Terminalia apetala*), sauce (*Salix humboltiana*), pochote (*Cochlospermum vitifolium*) (Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático, 2019). Sin embargo, la divulgación de información sobre la biodiversidad sigue siendo limitada. La falta de herramientas accesibles y atractivas dificulta la apropiación de conocimiento de elementos botánicos de zonas ribereñas por parte de la población y reduce el interés por su protección.

Como se mencionó existen zonas como las riberas de ríos y lagunas que son frecuentemente visitadas, en sus orillas se encuentran parques de recreación, en zonas de malecón, calzadas, paseos, entre otros, que permiten que la sociedad conozca estos entornos, pero hace falta información que permita a la sociedad apropiarse de conocimiento. En este contexto, las tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada se presentan como una oportunidad innovadora para fortalecer la educación ambiental, fomentar el turismo responsable y promover la identidad cultural, la Realidad Aumentada no sustituye la realidad, sino que la complementa mediante la superposición de información digital visual, auditiva o textual que amplía la percepción del entorno y estimula el aprendizaje activo (Martínez-Hernández y Cardenas-Magaña, 2023).

La Realidad Aumentada funciona mediante el despliegue de hardware equipado con cámara, como dispositivos móviles: teléfonos, tabletas, lentes inteligentes o pantallas de visualización frontal. Existen dos tipos fundamentales de realidad aumentada (Hayes y Downie, 2024):

- Basada en marcadores: utiliza un activador físico (como un código QR o una imagen) para desplegar el contenido digital.
- Sin marcadores: emplea sensores y algoritmos de visión artificial para mapear el entorno en tiempo real y proyectar contenido digital sin necesidad de un marcador.

A nivel nacional e internacional, existen aplicaciones que han demostrado el impacto positivo de la realidad aumentada en la educación ambiental y la promoción cultural. Por ejemplo, el proyecto *Augmented Swiss Heritage* (AFCA, 2022), ofrece una experiencia inmersiva que combina turismo, cultura y tecnología para redescubrir monumentos históricos mediante dispositivos móviles. De igual forma, *AR Perpetual Garden* utiliza la realidad aumentada para recrear jardines y ecosistemas virtuales en entornos reales, promoviendo la educación ambiental y la apreciación por la biodiversidad a través de experiencias interactivas (Tatzgern y Lange, 2019).

En este proyecto se consideró el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb, que señala que el aprendizaje efectivo involucra un proceso cíclico de cuatro fases: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa (Gómez, s.f.). Esto se logró a través de la implementación de capas de interacción en la aplicación de Realidad Aumentada.

Con la Aplicación de Realidad Aumentada que se presenta se busca aprovechar la tecnología de Realidad Aumentada para ofrecer a los visitantes de una zona ribereña de uso público, un aprendizaje experiencial, que combine el conocimiento científico con la interacción digital. Su objetivo es permitir la visualización de especies endémicas y elementos culturales mediante modelos 3D y contenidos multimedia con información sobre las mismas, contribuyendo así a la concientización sobre la conservación de la biodiversidad y al fortalecimiento de la identidad cultural de Tabasco.

## DESARROLLO

### OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una Aplicación de realidad aumentada para aprendizaje experiencial de plantas arbóreas de zona ribereña de uso público.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Investigar las plantas arbóreas que se encuentran en la zona ribereña.
- Analizar y seleccionar los contenidos para la educación ambiental.

- Diseñar el flujo de bajo el ciclo de Kolb.
- Diseñar el wireframe de la aplicación de Realidad Aumentada.
- Realizar los diseños en 3D
- Construcción de la aplicación de Realidad Aumentada.
- Aplicar las pruebas técnicas y de usabilidad de la aplicación de Realidad Aumentada.
- Analizar los resultados obtenidos.

## OBJETO DE ESTUDIO

El uso de las aplicaciones de realidad aumentada permite tener una mejor experiencia, interactiva, donde es posible la observación, reflexión, entendimiento, conceptualización, que permite tener experiencias significativas y construcción de conocimiento a largo plazo. Así mismo la combinación de la Realidad Aumentada con el modelo de Kolb, crea un andamio cognitivo, funciona como un enlace entre lo abstracto y lo concreto, fomenta la metacognición y carga cognitiva. El conocimiento sobre la biodiversidad de los diferentes entornos ayuda a lograr una concientización de la sociedad. En este caso de estudio el enfoque es hacia las plantas arbóreas de zona ribereña de uso público, que frecuentemente están destinadas a la educación ambiental, entretenimiento y turismo, pero comúnmente no se cuenta con estrategias tecnológicas que faciliten la apropiación de conocimiento por parte de la sociedad.

## METODOLOGÍA

Para la gestión de los proyectos, dado que es una aplicación móvil de Realidad Aumentada, se usó SCRUM, Scrum que es un marco de trabajo ágil en el que se usan ciclos cortos de trabajo, obteniendo avances de forma incremental, logrando la mejor continua. Algunos conceptos de funciones y artefactos usados en SCRUM son los siguientes (Schwaber y Sutherland, 2013):

- Roles, eventos y artefactos: estructura la metodología.
- Sprint: ciclo de trabajo, que varía de una a cuatro semanas con entregas finales específicas.
- El Product Backlog es la lista del trabajo a llevar a cabo.
- El Sprint Backlog es el trabajo pendiente del sprint.

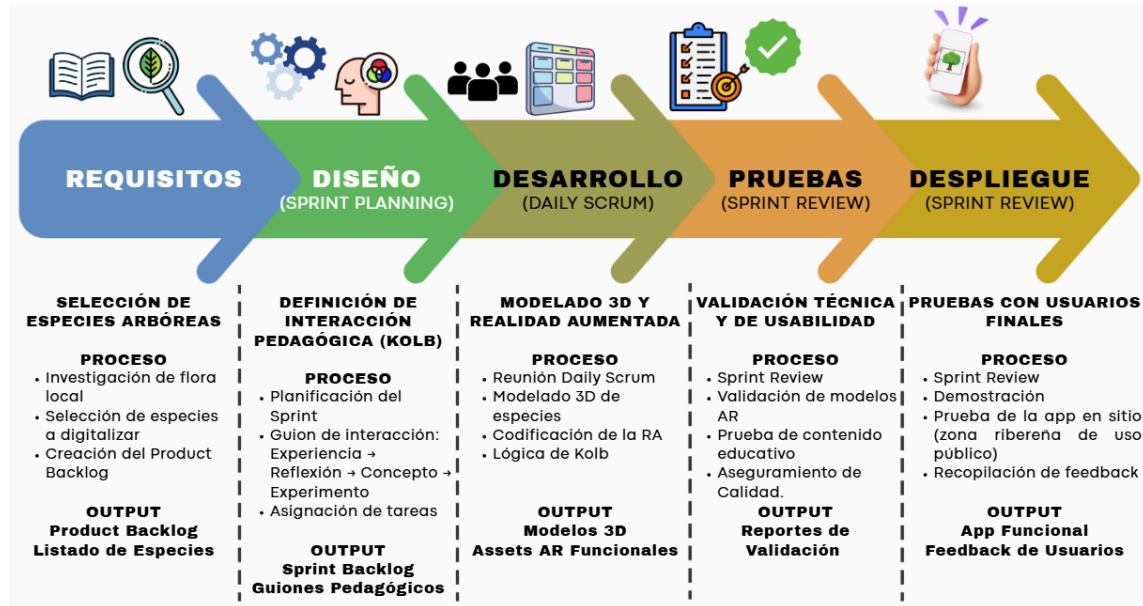
El desarrollo de la aplicación móvil de Realidad Aumentada se realizó siguiendo las etapas del ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC, por sus siglas en inglés Software Development Life Cycle), el cual es un proceso eficiente para diseñar y crear software de calidad AWS. (2024). En la metodología se integran etapas, que pueden variar: requisitos, diseño, desarrollo, pruebas y despliegue. A continuación, se describe como se realizaron las actividades integrando el ciclo de vida del desarrollo de software y el flujo de SCRUM, considerando el modelo de Kolb (ver Figura 1):

- Requisitos: Product, Backlog, se investigaron, tomaron fotografías y seleccionaron las plantas arbóreas a digitalizar.
- Diseño: Sprint Planning, se definió el guion de interacción bajo el ciclo de Kolb.
- Desarrollo: Daily Scrum, se modelaron en 3D las especies seleccionadas, se desarrolló la Realidad Aumentada, así como la lógica pedagógica de bajo el ciclo de Kolb.
- Pruebas: Sprint Review, se validaron los modelos de RA, los contenidos interactivos y educativos, así como las pruebas técnicas y de usabilidad.
- Despliegue: Sprint Review, se probó la app con usuarios finales.

Finalmente se realizó una etapa de análisis de resultados y posibilidades a futuro.

**Figura 1**

*Fases del Desarrollo de la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada de Plantas Arbóreas.*



## FASES DEL DESARROLLO

### Requisitos

Se realizó la investigación de la información para presentar en la Aplicación móvil de Realidad Aumentada se investigaron, se realizaron visitas a la zona ribereña seleccionada, se tomaron fotografías, y para concluir esta etapa se seleccionaron las especies más representativas a incluirse en la aplicación.

### Figura 2

*Planta Arbórea de zona ribereña de uso público: Macuilís (Tabebuia rosea)*



### Diseño

Se definió el guion de interacción de acuerdo con el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb y sus fases, se diseñaron los flujos para el proceso de uso de Realidad Aumentada:

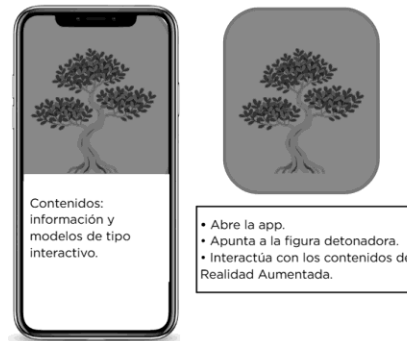
- Fase de Experiencia Concreta: el usuario escanea el activador de imagen y se visualiza el modelo 3D dinámico de la Planta Arbórea.

- Fase de Observación Reflexiva: el usuario analiza lo que visualiza en el modelo 3D de la Planta Arbórea, con la que puede interactuar.
- Fase de Conceptualización Abstracta: el usuario lee la información sobre la Planta Arbórea, reflexiona y puede repetir este proceso, identificando características de estas plantas.
- Fase de experimentación: se aplica lo aprendido, es decir, los usuarios pueden identificar las plantas Arbóreas en su entorno real, dado que los detonadores se encuentran en la zona ribereña de uso público seleccionado, y apropiarse del nuevo conocimiento.

Se diseñó un wireframe como esquema visual básico para mostrar la funcionalidad de la app (ver Figura 3). De igual forma se diseñaron los activadores de imagen de cada especie de planta seleccionada, las imágenes correspondían a elementos alusivos de cada especie.

**Figura 3**

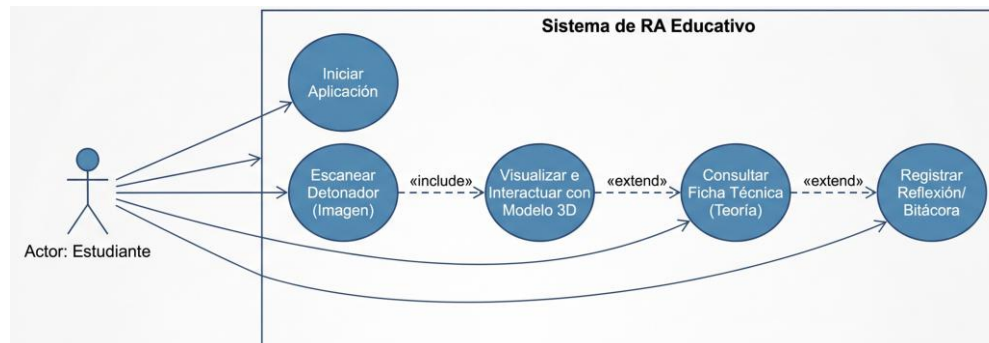
*Wireframe de la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada.*



De forma general se explica el diseño realizado que se refleja en el modelo de casos de uso de la Figura 4, Un diagrama de casos de uso UML es la forma de definir los requisitos del software para un nuevo software en desarrollo (Visual Paradigm, 2024). el usuario inicia la aplicación, escanea la imagen activadora o detonadora que se encuentra disponible de manera física, es decir impresa, seguidamente se visualiza el modelo 3D de la Planta Arbórea seleccionada e interactúa, consulta y reflexiona sobre esta información.

**Figura 4**

*Diagrama de casos de uso de la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada.*



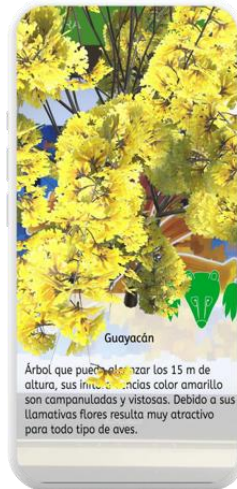
## Desarrollo

Se desarrolló la aplicación de Realidad Aumentada, la interfaz se observa en la Figura 5, se apunta al activador de imagen y se muestran los contenidos: el modelo 3D y la información correspondiente, permitiendo al usuario interactuar con los elementos digitales. Para el desarrollo de esta aplicación se usaron las herramientas tecnológicas siguientes:

- Blender: Es un software orientado a la creación de contenido tridimensional que permite generar imágenes estáticas, animaciones, efectos visuales (Blender, 2024). Se usó para realizar los diseños en 3D de las Plantas Arbóreas seleccionadas.
- Unity: es un motor gráfico ampliamente adoptado para la creación de videojuegos y aplicaciones interactivas en 2D, 3D, realidad aumentada y realidad virtual (Nava, 2024). Se usó para crear la aplicación de Realidad Aumentada.
- C#: es un lenguaje multiplataforma, que hace que los desarrolladores sean productivos al escribir código de alto rendimiento. Es orientado a objetos, incorpora características de otros paradigmas, como el de programación funcional (Microsoft Build, 2024). Este fue el lenguaje usado para la programación de aplicación móvil de Realidad Aumentada.

## Figura 5

*Interfaz de la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada.*



- Vuforia: es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada y Realidad Mixta, es multiplataforma, con rendimiento en una variedad de hardware como dispositivos móviles. La combinación de uso de herramientas de Vuforia y Unity permiten crear aplicaciones y juegos en diferentes sistemas operativos, utilizando un flujo de trabajo eficiente (Unity Documentation, 2018). Vuforia se usó en esta aplicación como SDK para la implementación de funcionalidades de realidad aumentada.
- Visual Studio Code: es un editor de código fuente, admite casi todos los lenguajes de programación principales, como JavaScript, TypeScript, CSS y HTML (Visual Studio Code, 2024). Para este desarrollo se usó este editor de texto, por su compatibilidad con las demás herramientas seleccionadas y versatilidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el proceso correspondiente a las Pruebas y el Despliegue de la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada.

### Pruebas Técnicas de Software

En cuanto a las Pruebas de Software de acuerdo con el ciclo de vida del desarrollo de software, se aplicaron las siguientes, donde cada una se centra en partes específicas de la aplicación (IBM, 2024):

- Pruebas unitarias: Se verificó el comportamiento individual de componentes específicos de la aplicación, como funciones relacionadas con la detección de marcadores de realidad aumentada, renderizado de modelos 3D y manejo de eventos de interacción.
- Pruebas de integración: Se evaluó la comunicación entre los distintos módulos del sistema, asegurando que procesos como la carga de recursos, visualización en realidad aumentada y navegación entre secciones funcionaran sin errores.

- **Pruebas del sistema:** Se probó la aplicación en condiciones cercanas al entorno real de uso, validando su desempeño general, estabilidad, compatibilidad en distintos dispositivos móviles.

En general la Aplicación Móvil de Realidad Aumentada, presentó un correcto funcionamiento tanto en pruebas unitarias, integración y del sistema.

### Prueba de Usabilidad UMUX

Así mismo se aplicaron las pruebas de usabilidad, donde se analizó la interacción del usuario con la aplicación mediante la aplicación del instrumento UMUX, (Usability Metric for User Experience) permitiendo medir aspectos como facilidad de uso, eficiencia y percepción general del sistema (Mitsiou y Kuric, 2025).

El instrumento UMUX permite medir de forma rápida y confiable la percepción del usuario sobre un sistema digital. Este método resulta adecuado en contextos de desarrollo iterativo, donde se busca retroalimentación constante para mejorar la aplicación.

El cuestionario está conformado por 4 preguntas, evaluados mediante una escala de Likert de 7 puntos (donde 1 = totalmente en desacuerdo, 7 = totalmente de acuerdo). Las preguntas aplicadas fueron las siguientes:

1. Las capacidades de la Aplicación de Realidad Aumentada satisfacen mis necesidades.
2. Usar la Aplicación de Realidad Aumentada es una experiencia frustrante (pregunta negativa).
3. Aplicación de Realidad Aumentada es fácil usar.
4. Tengo que dedicar demasiado tiempo corrigiendo cosas en Aplicación de Realidad Aumentada (pregunta negativa).

### Puntuación Obtenida

Recopilación de respuestas de los usuarios: La encuesta fue aplicada a un total de 46 usuarios, quienes interactuaron previamente con la aplicación y posteriormente respondieron el cuestionario mediante un formulario digital. Esto permitió obtener una valoración directa basada en la experiencia real de uso.

Declaraciones negativas de código inverso: Para mantener una escala positiva consistente, se codificaron de forma inversa las dos preguntas redactadas negativamente (pregunta 2 y 4). La fórmula para la codificación inversa es: Puntuación invertida = 8 - Puntuación bruta.

- **Cálculo de puntuación:** Con los elementos negativos codificados de forma inversa calculamos la puntuación final:
- **Sumar las puntuaciones:** Sumamos las 4 puntuaciones de cada participante. Esto dará una puntuación bruta entre 4 (la más baja) y 28 (la más alta).
- **Normalización de la escala:** Normalizamos la puntuación bruta a una escala de 0 a 100, utilizando la siguiente fórmula:
- **Puntuación UMUX = ((Puntuación bruta - 4) / 24) \* 100** (ver Figura 4).

### Interpretación de los Resultados

De acuerdo con los criterios de evaluación de UMUX (2025) una puntuación dentro del rango de 80 a 100 se considera como un nivel alto de usabilidad. Esto sugiere que Aplicación de Realidad Aumentada ofrece una experiencia satisfactoria, siendo percibida como una aplicación funcional, comprensible y fácil de utilizar (ver Tabla 1).

Se puede concluir que la aplicación cumple adecuadamente con las expectativas de los usuarios, considerando que se pueden realizar mejoras que optimicen aspectos de la interacción, y así como módulos que incluyan contenidos interactivos de otros tipos de vegetación.

**Tabla 1**

*Resumen resultado de la aplicación de las Pruebas de Usabilidad UMUX*

<b>Resumen</b>	
Respuestas completadas:	<b>46</b>
<b>UMUX Promedio (0–100):</b>	<b>83.0</b>
<b>Significado de los items (1–7):</b>	
Q1 Útil	6
Q2 Frustrante (original)	2
Q3 Fácil	6
Q2_R (Codificado inverso)	6
Q4 Demasiadas correcciones (original)	2
Q4_R (Codificado inverso)	6

## CONCLUSIÓN

El objetivo de desarrollar una Aplicación de Realidad Aumentada para aprendizaje experiencial de plantas arbóreas de zona ribereña de uso público. Se usó una combinación de modelos y metodologías para lograr este objetivo, se gestionó el proyecto de acuerdo con la metodología ágil SCRUM, que se consideró apropiada dado que se trata de un desarrollo de aplicación móvil, así mismo se integró el ciclo de Kolb, como elemento pedagógico durante la etapa de diseño de la aplicación. Los resultados de las pruebas indican que la aplicación es técnicamente funcional y en cuanto a las pruebas con el usuario final, de acuerdo con el instrumento UMUX, se obtuvo una calificación de 83.0, es una aplicación funcional, comprensible y de fácil uso.

La aplicación presenta un alto potencial de escalabilidad, ya que puede extenderse mediante la incorporación de nuevos marcadores, modelos 3D e interacciones sin necesidad de modificar significativamente su arquitectura principal, es decir, considerar otras especies de flora y la información correspondiente, integrada de acuerdo con el modelo de Kolb.

Con este tipo de desarrollos es posible avanzar un paso más, que la sociedad se apropie de estos conocimientos y en consecuencia exista una concientización por el cuidado y preservación de estas especies de plantas, dado que muchas de ellas se encuentran clasificadas como especies amenazadas, principalmente por la destrucción de su hábitat natural.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFCA (2022). Augmented Swiss Heritage. <https://afca.ch/en/projects/augmented-swiss-heritage>
- AWS. (2024). ¿Qué es el SDLC?. <https://aws.amazon.com/es/what-is/sdlc/>
- Blender. (2024). Manual Introducción a Blender. [https://docs.blender.org/manual/es/2.82/getting\\_started/about/introduction.html](https://docs.blender.org/manual/es/2.82/getting_started/about/introduction.html)
- Gómez, J. (s.f.). El aprendizaje experiencial. [https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_5/1/3.Gomez\\_Pawelek.pdf](https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_5/1/3.Gomez_Pawelek.pdf)
- IBM. (2024). ¿Qué son las pruebas de software? <https://www.ibm.com/es-es/topics/software-testing>
- Hayes, M., y Downie, A. (2024). ¿Qué es la realidad aumentada? IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/augmented-reality>
- Martínez-Hernández, E. J., y Cardenas-Magaña, J. A. (2023). Análisis de herramientas de realidad aumentada en ambientes educativos: Beneficios y desafíos. *Revista InCIE*, 5(1), 125-140. <https://ojsincaing.com.mx/index.php/ediciones/article/view/539>
- Microsoft Build (2024). Paseo por el lenguaje C#. <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/tour-of-csharp/overview>
- Nava, J. (2024). Qué es Unity y para qué sirve este motor gráfico. Empowertalent. <https://empowertalent.com/que-es-unity/>
- Schwaber, K. y Sutherland, J. (2013). La Guía de Scrum. <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-ES.pdf>
- Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático. (2019). Programa de manejo de la Reserva Ecológica Laguna de las Ilusiones. Gobierno del Estado de Tabasco. <https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/sbstabasco/PM-RE-Lagunadelasilusiones-2019.pdf>
- Tatzgern, M. y Lange, T. (2019). AR Perpetual Garden. <https://realities.fh-salzburg.ac.at/projects/ar-perpetual-garden/>
- Unity Documentation (2018). Vuforia. <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/vuforia-sdk-overview.html>
- Mitsiou E. y Kuric, E. (2025). Métrica de usabilidad para la experiencia de usuario (UMUX) 101. <https://blog.uxtweak.com/umux/>
- Visual Paradigm (2024). ¿Qué es un diagrama de casos de uso?. <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-use-case-diagram/>
- Visual Studio Code - Code editing. Redefined. (2024). <https://code.visualstudio.com/>

# SIMULACIÓN Y APRENDIZAJE MATEMÁTICO EN EL AULA

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.967

María del Consuelo Macias González<sup>1</sup>, Laura Rodríguez Maya<sup>2</sup>, Viridiana Jiménez Martínez<sup>3</sup>, Brenda Berenice Flores Cortés<sup>4</sup>

<sup>1</sup> TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>2</sup> TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [laura.rm@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:laura.rm@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>3</sup> TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [viridiana.jm@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:viridiana.jm@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>4</sup> TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, e-mail: [brenda.fc@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:brenda.fc@cuautitlan.tecnm.mx)

## Línea de investigación: Tecnología Educativa

### Resumen

La enseñanza de las matemáticas en los programas de ingeniería representa uno de los principales retos en la educación superior debido a la complejidad de contenidos y a las dificultades que enfrentan los estudiantes durante su proceso académico inicial a nivel superior. Uno de los temas relacionados es el de optimización (máximos y mínimos) en la asignatura de Cálculo Diferencial, ya que requiere que los estudiantes desarrollen habilidades de análisis, interpretación gráfica y modelación matemática para la resolución de problemas de la vida real.

En este contexto, la tecnología educativa constituye una alternativa para fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje mediante entornos interactivos que favorezcan la construcción del conocimiento. El presente trabajo describe la implementación de un simulador educativo diseñado por estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales y de la Maestría en Tecnologías de la Información, que es utilizado como recurso didáctico en la asignatura de Cálculo Diferencial impartida a estudiantes de primer semestre de ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI).

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, con alcance descriptivo y de investigación aplicada. Para la recolección de información se emplea técnicas de observación directa, registros académicos, imágenes y análisis de la participación estudiantil durante las actividades desarrolladas en el aula. La estrategia didáctica consistió en la utilización del simulador para representar de manera dinámica problemas de optimización asociados al cálculo de máximos y mínimos, permitiendo a los estudiantes visualizar el comportamiento de las funciones, analizar puntos críticos e interpretar soluciones en contextos reales.

Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora en la comprensión de los conceptos matemáticos, una mayor participación durante las sesiones de trabajo y una actitud positiva hacia el aprendizaje. Asimismo, se observó que la interacción con el simulador facilitó la representación algebraica y gráfica de los problemas, favoreciendo procesos de aprendizaje significativos.

Se concluye que la incorporación de simuladores constituye una estrategia tecnopedagógica pertinente para fortalecer la enseñanza del Cálculo Diferencial en estudiantes de nuevo ingreso, contribuyendo al desarrollo de competencias matemáticas, tecnológicas y de resolución de problemas requeridas en la formación de ingenieros.

*Palabras clave: Simulación, Cálculo Diferencial, aprendizaje matemático, innovación educativa.*

### Abstract

Teaching mathematics in engineering programs represents one of the major challenges in higher education due to the complexity of the subject matter and the difficulties students encounter during their initial academic transition to university-level studies. One of the most challenging topics is optimization (maxima and minima) in the Differential Calculus course, as it requires students to develop analytical skills, graphical interpretation abilities, and mathematical modeling competencies to solve real-world problems.

In this context, educational technology provides an effective alternative for strengthening teaching and learning processes through interactive environments that promote knowledge construction. This study describes the implementation of an educational simulator designed by students from the Computer Systems Engineering program and the Master's Degree in Information Technologies, which was used as a teaching resource in the Differential Calculus course taught to first-semester Chemical Engineering students at the Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI).

The research was conducted using a mixed-methods approach with a descriptive and applied research scope. Data were collected through direct observation techniques, academic records, photographic evidence, and analysis of student participation during classroom activities. The instructional strategy consisted of using the simulator to dynamically represent optimization problems involving maxima and minima, enabling students to visualize the behavior of functions, analyze critical points, and interpret solutions in real-world contexts.

The results showed an improvement in students' understanding of mathematical concepts, increased participation during classroom sessions, and a positive attitude toward learning. Furthermore, interaction with the simulator facilitated the connection between the algebraic and graphical representations of optimization problems, promoting meaningful learning processes.

It is concluded that the incorporation of educational simulators constitutes an appropriate techno-pedagogical strategy for strengthening the teaching of Differential Calculus among first-year students, contributing to the development of mathematical, technological, and problem-solving competencies required in engineering education.

*Keywords: Simulation, Differential Calculus, mathematical learning, educational innovation.*

## INTRODUCCIÓN

Las matemáticas constituyen una de las áreas fundamentales en la formación de ingenieros debido a su contribución al desarrollo del pensamiento lógico, la modelación de fenómenos y la resolución de problemas complejos. Dentro de los programas académicos de ingeniería del Tecnológico Nacional de México, las asignaturas de ciencias básicas representan el cimiento sobre el cual se construyen competencias profesionales relacionadas con el análisis, el diseño y la toma de decisiones. No obstante, múltiples investigaciones han señalado que los cursos iniciales de matemáticas presentan altos índices de dificultad, particularmente en temas que demandan un elevado nivel de abstracción y razonamiento analítico.

En el contexto de la educación superior tecnológica, la asignatura de Cálculo Diferencial constituye una de las primeras experiencias formales de los estudiantes con herramientas matemáticas avanzadas. Entre los contenidos que generan mayores dificultades se encuentra la optimización mediante máximos y mínimos, tema que requiere la comprensión de conceptos relacionados con funciones, derivadas, puntos críticos y análisis gráfico. La complejidad a estos contenidos suele identificarse en problemas de comprensión conceptual y dificultades para transferir los conocimientos matemáticos a situaciones aplicadas propias de la ingeniería.

Durante los últimos años, se ha impulsado el desarrollo de nuevas estrategias orientadas a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la educación superior mediante el uso de herramientas tecnológicas. En este sentido ha permitido enriquecer los entornos educativos con recursos que favorecen la interacción, la visualización y la experimentación.

Entre las herramientas con mayor potencial educativo destacan los simuladores interactivos, los cuales permiten representar de manera dinámica fenómenos, procesos y modelos matemáticos. En algunos artículos recientes, se han documentado resultados favorables asociados al uso de simuladores en la enseñanza de las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.

En concordancia con estas tendencias, en TESCO se desarrolló un simulador educativo orientado a la enseñanza de problemas de optimización mediante máximos y mínimos. La herramienta fue diseñada por un estudiante de la Maestría en Tecnologías de la Información y un grupo de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Posteriormente, el simulador fue implementado en la asignatura de Cálculo Diferencial con estudiantes de primer semestre de ingeniería Química, con el propósito de fortalecer la comprensión de los conceptos involucrados.

Representa una experiencia de innovación educativa que integra conocimientos provenientes de las áreas de tecnologías de la información y ciencias básicas, promoviendo un enfoque interdisciplinario orientado al fortalecimiento de las competencias matemáticas de los futuros ingenieros.

La presente investigación se desarrolla en el marco del proyecto “El modelo Tecnopedagógico como parte medular en el aprendizaje significativo en Educación Superior Tecnológica”, que emana de la línea de investigación Docencia y Aprendizaje registrada ante el Tecnológico Nacional de México (TecNM). El estudio tiene como propósito analizar la contribución de un simulador educativo en el aprendizaje de problemas de optimización mediante máximos y mínimos en estudiantes de primer semestre que cursan la asignatura de Cálculo Diferencial. A partir de la evidencia obtenida durante su implementación, se busca generar conocimiento que contribuya al fortalecimiento de las estrategias tecnopedagógicas en la enseñanza de las matemáticas dentro de las instituciones de educación superior tecnológica.

## DESARROLLO

La incorporación de tecnologías digitales en los procesos educativos ha generado nuevas posibilidades para fortalecer la enseñanza de las matemáticas en la educación superior. En particular, la simulación educativa ha adquirido relevancia como una estrategia que favorece la representación visual de conceptos abstractos, permitiendo que los estudiantes interactúen con modelos dinámicos que facilitan la construcción del conocimiento. De acuerdo con Mayer (2021), el aprendizaje se fortalece cuando la información es presentada mediante múltiples representaciones que integran elementos visuales y conceptuales, favoreciendo la comprensión de contenidos complejos.

En el ámbito de la educación matemática, diversos estudios han evidenciado que las herramientas de simulación contribuyen a mejorar la comprensión de conceptos relacionados con funciones, derivadas, optimización y modelación matemática. Según Moreno-Guerrero, López-Belmonte, Marín-Marín y Soler-Costa (2023), los recursos digitales interactivos promueven una mayor participación de los estudiantes y facilitan procesos de aprendizaje centrados en la exploración y el descubrimiento. Asimismo, la UNESCO (2024) destaca que las tecnologías educativas pueden favorecer experiencias de aprendizaje más inclusivas, dinámicas y contextualizadas cuando se integran de manera adecuada a las estrategias didácticas.

La innovación propuesta se fundamenta en principios tecnopedagógicos que consideran al estudiante como un agente activo en la construcción de su aprendizaje. Desde esta perspectiva, la simulación constituye una herramienta que favorece la experimentación, la

observación y la toma de decisiones, promoviendo procesos cognitivos de análisis y reflexión. La implementación de esta herramienta también responde a la necesidad de fortalecer la vinculación entre el desarrollo tecnológico y la práctica educativa dentro de las instituciones de educación superior.

Otro aspecto relevante de la propuesta es su contribución al desarrollo de competencias digitales tanto en docentes como en estudiantes. La interacción con entornos tecnológicos favorece la adquisición de habilidades relacionadas con el uso de herramientas digitales, la interpretación de información gráfica y la resolución de problemas mediante recursos tecnológicos. Estas competencias son consideradas fundamentales en los perfiles profesionales de las ingenierías y forman parte de las demandas actuales de la educación superior tecnológica (OECD, 2023).

La utilización del simulador durante las sesiones de clase permite complementar las estrategias tradicionales de enseñanza mediante actividades orientadas a la exploración guiada y al aprendizaje activo. A diferencia de los métodos convencionales centrados exclusivamente en procedimientos algebraicos, la simulación proporcionó a los estudiantes la posibilidad de visualizar los efectos de las variaciones en los parámetros de las funciones y comprender de manera más intuitiva la localización de máximos y mínimos en diferentes contextos de aplicación.

En este sentido, no se limita al uso de una herramienta tecnológica, sino que representa una estrategia de innovación educativa orientada a fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas en la formación de ingenieros.

## *OBJETIVO GENERAL*

Analizar la contribución de un simulador educativo desarrollado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI) en el aprendizaje de problemas de optimización (máximos y mínimos) en estudiantes de primer semestre que cursan la asignatura de Cálculo Diferencial, con la finalidad de fortalecer la comprensión conceptual, la visualización matemática y el aprendizaje significativo en la formación de ingenieros.

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

1. Implementar un simulador educativo como recurso didáctico para el estudio de problemas de optimización mediante máximos y mínimos en la asignatura de Cálculo Diferencial.
2. Evaluar la influencia del simulador en la comprensión de conceptos relacionados con el tema.
3. Analizar el nivel de participación e interacción de los estudiantes durante las actividades desarrolladas con apoyo del simulador.
4. Identificar las ventajas pedagógicas que ofrece la simulación educativa para la enseñanza de contenidos matemáticos en estudiantes de primer semestre de ingeniería.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio de la presente investigación es el proceso de enseñanza-aprendizaje de los problemas de optimización mediante máximos y mínimos en la asignatura de Cálculo Diferencial, específicamente la utilización de un simulador educativo sobre la comprensión conceptual, la visualización matemática y la participación del estudiante de primer semestre de ingeniería.

La investigación se centra en analizar cómo la integración de herramientas tecnológicas desarrolladas en un contexto de educación superior tecnológica puede favorecer la construcción del conocimiento matemático, facilitando la comprensión de conceptos abstractos mediante representaciones gráficas dinámicas e interactivas. Asimismo, se estudia la contribución de la simulación educativa como estrategia tecnopedagógica para fortalecer el aprendizaje significativo en cursos iniciales de ciencias básicas.

## *METODOLOGÍA*

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, debido a que integra información cuantitativa y cualitativa para analizar la contribución de un simulador educativo en el aprendizaje de problemas de optimización mediante máximos y mínimos en estudiantes de primer semestre de ingeniería. El estudio se enmarca dentro de la investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento a partir de la implementación de una herramienta tecnológica diseñada específicamente para atender una problemática educativa identificada en la asignatura de Cálculo Diferencial.

La población objeto de estudio estuvo conformada por estudiantes de primer semestre inscritos en ingeniería Química del TESCO que cursaron la asignatura de Cálculo Diferencial durante el periodo académico 2025-1. La muestra se seleccionó mediante un procedimiento no probabilístico por conveniencia. La herramienta principal se desarrolló en el lenguaje Python y fue diseñado para representar de manera dinámica problemas de optimización mediante máximos y mínimos, permitiendo la visualización de funciones, el análisis de puntos críticos y la interpretación gráfica de soluciones.

Para la obtención de información se emplearon diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos. La observación directa permitió registrar el comportamiento, participación e interacción de los estudiantes durante las actividades desarrolladas. Asimismo, se utilizaron seguimientos académicos, guías de observación y evidencias fotográficas obtenidas durante la implementación del simulador en el aula. El procedimiento metodológico contempló la identificación de las dificultades de aprendizaje asociadas al tema de optimización, la implementación del simulador como recurso didáctico y el análisis de las evidencias generadas durante el proceso. La información recopilada fue organizada y analizada mediante técnicas descriptivas que permitieron identificar tendencias relacionadas con la comprensión conceptual, la participación estudiantil y la percepción del uso de la herramienta tecnológica.

La validez de los resultados se fortaleció mediante la triangulación de la información obtenida a partir de las observaciones realizadas, el seguimiento de desempeño académico y las evidencias documentales y fotográficas. Este procedimiento permitió contrastar diferentes fuentes de información para obtener una visión integral del fenómeno estudiado y fortalecer la confiabilidad de los hallazgos. Se observa en la siguiente figura la metodología que fue utilizada:

Fig. 1. Metodología



## *FASES DEL DESARROLLO*

La implementación del simulador educativo se realizó mediante un proceso estructurado en cinco fases, orientadas a garantizar la adecuada integración de la herramienta tecnológica dentro de las actividades académicas de la asignatura de Cálculo Diferencial.

### Fase 1. Identificación de necesidades de aprendizaje

En una primera etapa se realizó un análisis de los contenidos de la asignatura con la finalidad de identificar los temas que presentaban mayores dificultades para los estudiantes. A partir de la experiencia docente y de los resultados obtenidos en cursos anteriores, se determinó que los problemas de optimización mediante máximos y mínimos constituían uno de los contenidos con mayor complejidad conceptual.

Durante esta fase se revisaron los resultados académicos históricos, se analizaron las principales dificultades observadas en el aula y se establecieron los requerimientos funcionales que debería atender la herramienta tecnológica.

Fig. 2. Identificación de problemática

Fase 2. Desarrollo del simulador educativo

Con base en las necesidades identificadas, se conforma el equipo de trabajo para el desarrollo del simulador, por lo cual se integra un estudiante de la Maestría en Tecnologías de la Información y estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales. La herramienta fue diseñada para representar gráficamente funciones matemáticas, identificar puntos máximos y mínimos, visualizar cambios en tiempo real y fortalecer la interpretación de resultados. El desarrollo consideró criterios de accesibilidad, facilidad de uso y compatibilidad con los contenidos de la asignatura. Para el diseño, el lenguaje de programación utilizado es Python, así como streamlit para el render de la UI, Matplot para la generación de las gráficas, Numpy para mejor manejo de los números y sympy para algunos elementos más que componen el simulador.

Fig. 3. Diseño y desarrollo del simulador

Fase 3. Planeación didáctica e integración al aula

Una vez concluido el desarrollo de la herramienta, se diseñaron actividades de aprendizaje orientadas a integrar el simulador dentro de las sesiones de clase. El problema 1, Lanzamiento de bola y el problema 2 reentrada del satélite.

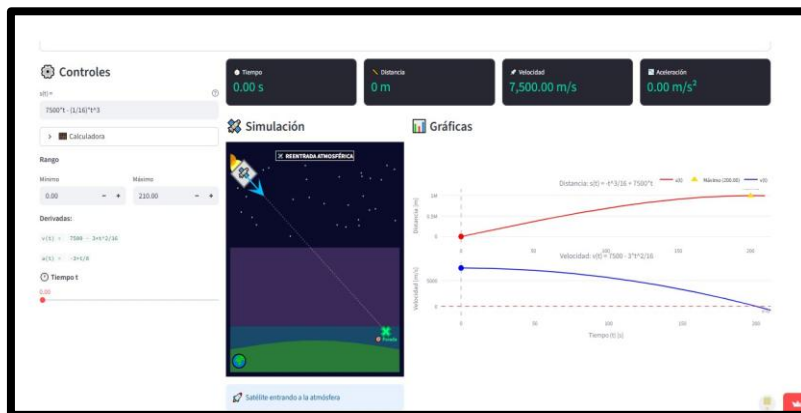
Se diseñaron secuencias didácticas que combinan la explicación teórica, la resolución de ejercicios y la utilización del simulador como apoyo para la visualización de los conceptos matemáticos involucrados. Así como el manual que le permite al estudiante apoyarse para el uso de la herramienta.

Fig. 4. Actividades diseñadas



En el primer problema diseñando, lanzamiento de bola, tiene como objetivo el comportamiento de una bola que es lanzada hacia arriba, cuya altura en función del tiempo está dada por una función. Dentro de las actividades que estudiante explora es de hallar su velocidad inicial, su velocidad después de un tiempo, visualiza su grafica usando los ejes con  $t$  (tiempo) y  $h$  (altura) y calcula la velocidad máxima de la bola. Con esto el estudiante puede comenzar a relacionar la parte grafica con la analítica, que es uno de los objetivos que se pretenden.

En la figura 5 se visualiza la interacción que el estudiante puede tener al hacer uso del problema 2. Fig.5 Problema Reentrada del satélite.



#### Fase 4. Implementación y seguimiento

La fase de implementación consistió en la utilización del simulador durante las sesiones dedicadas al estudio de problemas de optimización. Los estudiantes interactuaron con la herramienta para analizar diferentes funciones matemáticas, identificar puntos críticos y contrastar los resultados obtenidos mediante procedimientos algebraicos y representaciones gráficas.

Durante el desarrollo de las actividades se registraron observaciones relacionadas con la participación estudiantil, el nivel de interacción con la herramienta y las dificultades presentadas durante el proceso de aprendizaje.

Durante la fase de implementación, se seleccionó un grupo de estudiantes de primer semestre de la carrera de Ingeniería Química, quienes cursaban la asignatura de Cálculo Diferencial. Con el propósito de facilitar la interacción con la herramienta tecnológica, los participantes contaron con un manual de usuario diseñado específicamente para orientar el desarrollo de las prácticas propuestas y favorecer el uso adecuado del simulador durante las actividades académicas.

Fig. 6. Implementación



La implementación se desarrolló en dos momentos. En una primera sesión se realizó el acercamiento inicial a la herramienta tecnológica, donde se presentaron las características generales del simulador, los objetivos de las actividades, las formas de entrega de las evidencias y la importancia de su utilización como apoyo para la comprensión de los temas relacionados con la optimización mediante máximos y mínimos. Asimismo, se resolvieron dudas relacionadas con el funcionamiento del sistema y se llevaron a cabo ejercicios exploratorios que permitieron a los estudiantes familiarizarse con la interfaz y las funcionalidades disponibles. En una segunda sesión, los estudiantes desarrollaron las prácticas diseñadas para el análisis y resolución de problemas de optimización. Durante esta etapa, utilizaron el simulador para representar gráficamente diferentes funciones, identificar puntos críticos y contrastar los resultados obtenidos mediante procedimientos analíticos con las representaciones visuales generadas por la herramienta.

Cada sesión tuvo una duración de 90 minutos, tiempo que permitió el desarrollo completo de las actividades programadas sin contratiempos significativos. Asimismo, la duración de las sesiones favoreció la participación activa de los estudiantes, la exploración de distintos escenarios de análisis y la retroalimentación continua por parte del docente, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos planteados para la intervención educativa.

#### Fase 5. Evaluación y análisis de resultados

Una vez concluida la implementación del simulador educativo, se procedió a la evaluación y análisis de los resultados obtenidos durante las sesiones de trabajo. Este proceso tuvo como finalidad identificar la contribución de la herramienta tecnológica en la comprensión de los conceptos relacionados con la optimización mediante máximos y mínimos, así como valorar la participación e interacción de los estudiantes durante el desarrollo de las actividades.

La evaluación se realizó a partir de diversas fuentes de información, incluyendo los productos académicos generados por los estudiantes, las observaciones efectuadas por el docente durante las sesiones, las evidencias fotográficas obtenidas durante la implementación y los registros derivados del uso del simulador. La integración de estas fuentes permitió contar con una visión más amplia del proceso de aprendizaje y fortalecer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Los productos entregados por los estudiantes fueron analizados considerando aspectos relacionados con la comprensión de los procedimientos matemáticos, la correcta identificación de puntos máximos y mínimos, la interpretación de resultados y la capacidad para relacionar las representaciones algebraicas con las gráficas generadas por el simulador. Asimismo, se revisó el nivel de cumplimiento de las actividades planteadas en el manual de prácticas, así como la calidad de las soluciones propuestas para los problemas de optimización abordados.

Durante las sesiones se observó el grado de participación de los estudiantes, su interacción con la herramienta tecnológica y la forma en que utilizaron el simulador para validar procedimientos y analizar distintos escenarios. De manera particular, se registraron aspectos relacionados con la autonomía en el uso de la herramienta, la colaboración entre compañeros y la capacidad para formular preguntas o plantear alternativas de solución a los ejercicios propuestos.

Fig. 7 Aplicación de formulario

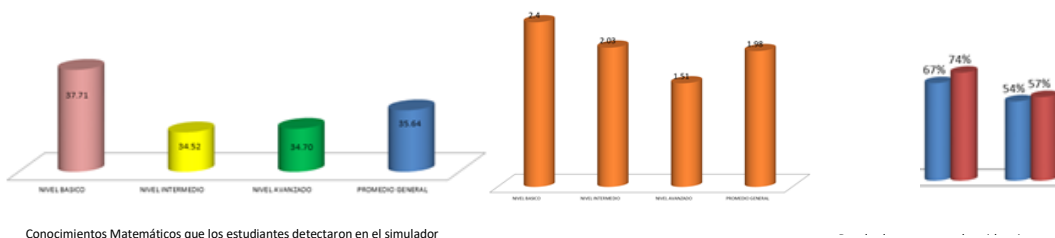


Las evidencias fotográficas constituyeron un elemento complementario para documentar el desarrollo de la intervención. Estas permitieron registrar momentos significativos de interacción con el simulador, actividades colaborativas y procesos de análisis realizados por los estudiantes. Asimismo, las imágenes sirvieron como respaldo documental de la implementación de la estrategia tecnopedagógica dentro del aula.

Para el análisis de la información recopilada se empleó una estrategia de triangulación de datos, contrastando los hallazgos obtenidos a partir de las observaciones, los productos académicos y las evidencias documentales. Este procedimiento permitió identificar coincidencias y patrones relacionados con la comprensión conceptual, la participación estudiantil y la apropiación de la herramienta tecnológica como recurso de aprendizaje.

Los resultados obtenidos fueron organizados en tres categorías de análisis: comprensión de conceptos matemáticos, participación e interacción estudiantil, y percepción del uso del simulador como apoyo didáctico, (tal como se observa en la fig. 7). Estas categorías permitieron valorar de manera integral el impacto de la intervención y generar elementos de discusión sobre la pertinencia de incorporar herramientas de simulación en la enseñanza de contenidos matemáticos en programas de ingeniería.

Fig. 8 Datos obtenidos



Conocimientos Matemáticos que los estudiantes detectaron en el simulador

Los resultados obtenidos durante la implementación del simulador evidenciaron una mejora en la comprensión de los conceptos relacionados con la optimización mediante máximos y mínimos en la asignatura de Cálculo Diferencial. Durante las actividades desarrolladas, los estudiantes lograron establecer con mayor facilidad la relación entre la representación algebraica de una función y su comportamiento gráfico, permitiéndoles identificar puntos críticos y analizar las condiciones necesarias para determinar valores máximos y mínimos. La visualización dinámica proporcionada por el simulador favoreció la comprensión de conceptos que tradicionalmente presentan un alto nivel de abstracción, contribuyendo a que los estudiantes construyeran un conocimiento más sólido y significativo sobre los procedimientos matemáticos involucrados.

Asimismo, se observó un incremento en la participación e interacción de los estudiantes durante las sesiones de trabajo. La posibilidad de manipular variables, visualizar resultados en tiempo real y contrastar las soluciones obtenidas mediante procedimientos analíticos generó un ambiente de aprendizaje más dinámico y colaborativo. Las evidencias fotográficas y los registros de observación mostraron que los estudiantes manifestaron mayor interés por el desarrollo de las actividades, participaron activamente en la resolución de problemas y demostraron una actitud favorable hacia el uso de herramientas tecnológicas aplicadas al aprendizaje de las matemáticas.

Estos resultados sugieren que la incorporación de simuladores educativos puede fortalecer tanto la comprensión conceptual como la motivación académica en estudiantes de primer semestre de ingeniería.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del simulador educativo en la asignatura de Cálculo Diferencial permitió identificar cambios favorables en la forma en que los estudiantes abordaron los problemas de optimización mediante máximos y mínimos. Durante las sesiones de trabajo se observó una participación más activa en comparación con las actividades desarrolladas mediante estrategias tradicionales, particularmente en aquellos ejercicios donde era necesario interpretar gráficamente el comportamiento de una función y relacionarlo con los procedimientos algebraicos asociados al cálculo de derivadas.

Uno de los principales hallazgos estuvo relacionado con la visualización matemática. Antes de la implementación del simulador, una parte importante de los estudiantes manifestaba dificultades para comprender la relación existente entre la expresión algebraica de una función y su representación gráfica. Durante el desarrollo de las actividades, la posibilidad de observar en tiempo real las modificaciones producidas por el cambio de parámetros permitió que los estudiantes identificaran con mayor facilidad los puntos máximos y mínimos, así como su interpretación dentro de contextos de optimización. Esta situación favoreció la construcción de conexiones entre los conceptos teóricos revisados en clase y su representación visual, aspecto fundamental para el aprendizaje de las matemáticas en las ingenierías.

Durante la implementación mostraron una participación constante de los estudiantes en las actividades propuestas. Se observó que los alumnos interactuaban con el simulador para comprobar resultados obtenidos mediante procedimientos analíticos, comparar diferentes escenarios y verificar el comportamiento de las funciones estudiadas.

Otro aspecto relevante identificado durante la intervención fue el incremento en el interés y la motivación hacia el aprendizaje del tema. La utilización de una herramienta interactiva permitió que los estudiantes percibieran los contenidos matemáticos como procesos dinámicos y no únicamente como una serie de procedimientos mecánicos.

Los registros de observación elaborados durante las sesiones mostraron que los estudiantes participaron con mayor frecuencia en preguntas relacionadas con la interpretación de resultados, el análisis de gráficas y la justificación de soluciones. Este comportamiento evidencia un tránsito gradual desde una comprensión centrada en la aplicación de algoritmos hacia una comprensión orientada al razonamiento matemático y la interpretación conceptual.

Como resultado de la implementación del simulador se permitió complementar las estrategias tradicionales de enseñanza mediante recursos que favorecieron la explicación de conceptos abstractos. La visualización de los puntos críticos y la representación gráfica de los procesos de optimización facilitaron la comunicación de ideas matemáticas que, en algunos casos, resultan complejas de transmitir exclusivamente mediante procedimientos algebraicos. Asimismo, el simulador se convirtió en un apoyo para el desarrollo de actividades centradas en el aprendizaje activo y la participación de los estudiantes.

Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones recientes que destacan el potencial de las herramientas de simulación para fortalecer la comprensión conceptual en áreas STEM. Estudios realizados por Moreno-Guerrero et al. (2023) señalan que los recursos tecnológicos interactivos favorecen ambientes de aprendizaje más dinámicos y promueven una mayor implicación de los estudiantes en la construcción de su conocimiento. De igual forma, Mayer (2021) sostiene que la integración de elementos visuales y multimedia contribuye significativamente a la comprensión de contenidos complejos mediante la activación simultánea de distintos canales de procesamiento cognitivo.

Un aspecto particularmente significativo de esta experiencia fue la vinculación entre la innovación tecnológica y la práctica educativa. El hecho de que el simulador haya sido desarrollado por un estudiante de la Maestría en Tecnologías de la Información, con apoyo de estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales, demuestra el potencial de la colaboración interdisciplinaria para generar soluciones orientadas a problemáticas reales del ámbito educativo. Esta integración favorece no solo el aprendizaje de los estudiantes usuarios de la herramienta, sino también la aplicación práctica de conocimientos especializados por parte de quienes participan en su diseño y desarrollo.

A partir del análisis realizado, puede afirmarse que el simulador educativo constituyó una herramienta pertinente para fortalecer el aprendizaje de los temas relacionados con la optimización mediante máximos y mínimos. Su utilización permitió enriquecer la experiencia de aprendizaje, favorecer la comprensión de conceptos abstractos y promover una mayor interacción entre los estudiantes y

los contenidos matemáticos. Los hallazgos obtenidos sugieren que la simulación educativa puede representar una alternativa viable para fortalecer la enseñanza de las matemáticas en los primeros semestres de formación ingenieril.

## *CONCLUSIÓN*

La presente investigación tuvo como propósito analizar la contribución de un simulador educativo en el aprendizaje de problemas de optimización mediante máximos y mínimos en estudiantes de primer semestre que cursan la asignatura de Cálculo Diferencial. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la incorporación de herramientas tecnológicas de simulación favorece el fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el ámbito de la educación superior tecnológica.

La implementación del simulador contribuyó a mejorar la comprensión de conceptos matemáticos que tradicionalmente presentan altos niveles de dificultad para los estudiantes de nuevo ingreso. La posibilidad de visualizar gráficamente el comportamiento de las funciones y observar de manera dinámica los cambios asociados a la localización de máximos y mínimos facilitó la construcción de relaciones entre los procedimientos algebraicos y su interpretación matemática, favoreciendo un aprendizaje más significativo. Asimismo, se identificó un incremento en la participación estudiantil durante las actividades desarrolladas con apoyo de la herramienta tecnológica. Los estudiantes mostraron una mayor disposición para interactuar con los contenidos, formular preguntas, contrastar resultados y analizar diferentes alternativas de solución. Estos hallazgos evidencian que la simulación educativa puede contribuir no solamente al fortalecimiento de conocimientos disciplinares, sino también al desarrollo de habilidades relacionadas con el pensamiento crítico, el análisis y la resolución de problemas.

Finalmente, se concluye que la utilización de simuladores educativos representa una alternativa pertinente para fortalecer la enseñanza del Cálculo Diferencial en programas de ingeniería. Este es el pilar de futuras investigaciones hacia otros contenidos matemáticos, incluyendo más aspectos de estudios comparativos que permitan medir con mayor precisión el impacto de estas herramientas sobre el rendimiento académico. Asimismo, el continuar con el desarrollo de soluciones tecnológicas propias que respondan a las necesidades específicas de la educación superior tecnológica y contribuyan al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje en las áreas de ciencias básicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bond, M., Buntins, K., Bedenlier, S., Zawacki-Richter, O., y Kerres, M. (2024). Mapeo de la investigación sobre compromiso estudiantil y tecnología educativa: una revisión sistemática de evidencias. *Educational Technology Research and Development*, 72(1), 45-78.
- Borji, A., Radmehr, F., y Drake, M. (2023). Aprendizaje matemático mejorado con tecnología en la educación en ingeniería: una revisión sistemática. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 54(7), 1285-1304.
- Campos, R., Hernández, P., y López, J. (2024). Entornos de simulación educativa y aprendizaje matemático en estudiantes de ingeniería. *Journal of STEM Education Research*, 7(2), 145-162
- Creswell, J. W., y Creswell, J. D. (2023). *Diseño de investigación: enfoques cualitativos, cuantitativos y mixtos* (6.ª ed.). Sage Publications.
- García-Peñalvo, F. J. (2023). Transformación digital en la educación superior: desafíos, oportunidades y perspectivas futuras. *Education in the Knowledge Society*, 24, 1-15.
- Gómez-García, M., López-Belmonte, J., Moreno-Guerrero, A. J., y Hinojo-Lucena, F. J. (2023). Impacto de las tecnologías digitales en el aprendizaje de las matemáticas en la educación superior. *Mathematics*, 11(8), 1874.
- Jonassen, D. H. (2022). *Aprender a resolver problemas con tecnología: una perspectiva constructivista*. Routledge.
- López-Martín, M. M., Expósito, A., y Jiménez, J. R. (2024). Herramientas digitales y comprensión matemática en estudiantes de ingeniería de primer ingreso. *Education Sciences*, 14(3), 285.
- Matú Sansores, L. A. (2024). Simuladores interactivos para la enseñanza de funciones matemáticas en educación superior. *Revista Iberoamericana de Tecnología Educativa*, 19(1), 55-71.
- Mayer, R. E. (2021). *Aprendizaje multimedia* (3.ª ed.). Cambridge University Press.
- Moreno-Guerrero, A. J., López-Belmonte, J., Marín-Marín, J. A., y Soler-Costa, R. (2023). Innovación educativa y transformación digital en la educación superior. *Education Sciences*, 13(5), 467.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2023). *Panorama de la educación digital 2023: hacia un ecosistema de educación digital eficaz*. OECD Publishing.
- Pérez González, E. (2025). Simulación digital y aprendizaje activo en cursos de ingeniería. *Revista Latinoamericana de Innovación Educativa*, 12(1), 88-104.
- Ramos-Pla, A., García-Peñalvo, F. J., y Colomo-Magaña, E. (2024). Tecnología educativa y desarrollo de competencias matemáticas en la educación superior. *Sustainability*, 16(5), 2123.
- Salinas, J. (2022). Innovación docente y tecnología educativa en la educación superior. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 25(2), 15-34.
- Sangrà, A., Raffaghelli, J. E., y Guitert, M. (2023). Desarrollo de competencias digitales en la educación superior: desafíos y oportunidades emergentes. *Computers & Education Open*, 4, 100130.
- Siemens, G. (2022). Conectivismo y aprendizaje en la era digital. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 19(3), 3-10.
- UNESCO. (2023). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo 2023: la tecnología en la educación. ¿Una herramienta bajo qué condiciones?* Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Van Eck, R. (2023). Simulaciones, juegos serios y tecnologías de aprendizaje en la educación STEM. *Journal of Educational Technology Systems*, 52(1), 23-45.
- Zawacki-Richter, O., y Jung, I. (2023). *Manual de educación abierta, a distancia y digital*. Springer.
- Zhang, L., Carter, R. A., Qian, X., Yang, Y., Rujimora, J., y Wen, S. (2024). Impacto de las tecnologías educativas en los resultados de aprendizaje en educación superior: un metaanálisis. *Computers & Education*, 203, 104856.

# EVALUACIÓN DE RESIDUOS NARANJA Y LIMÓN TRATADOS TÉRMICAMENTE EN LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO EN SOLUCIÓN ACUOSA

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.971

Maria Elena Alvarado Diaz<sup>1</sup>, Alejandra Cruz Arellano<sup>2</sup> y Bethsabet Jaramillo Sierra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México (TecNM) / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco / Ingeniería Ambiental e-mail: [mariaelena.alvaradod@test.edu.mx](mailto:mariaelena.alvaradod@test.edu.mx) y [alvaradodiazelena@gmail.com](mailto:alvaradodiazelena@gmail.com)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México (TecNM) / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco / Ingeniería Ambiental. e-mail: [alejandraacruzarellano888@gmail.com](mailto:alejandraacruzarellano888@gmail.com)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México (TecNM) / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco / Ingeniería Ambiental. e-mail: [bethsabet.jaramillo@test.edu.mx](mailto:bethsabet.jaramillo@test.edu.mx)

**Línea de investigación:** Desarrollo de materiales, procesos fisicoquímicos y de oxidación, novedosos para la aplicación ambiental

## Resumen

Los colorantes en las aguas residuales son de difícil degradación, estos provocan la muerte de los ecosistemas acuáticos, por ello, es necesario removerlo. En este trabajo se trataron térmicamente residuos de naranja y limón en un reactor de pirólisis a baja temperatura y se evaluó el porcentaje de remoción de azul de metileno. Para ello se realizó la recolección de cáscaras de naranja y limón en el mercado, los residuos se llevaron al laboratorio donde se limpiaron, cortaron, pesaron y trataron térmicamente de forma individual en un reactor de pirólisis a baja temperatura (150 y 170°C) con un tiempo de residencia de 1 hora. Los residuos tratados se acomodaron en una capa homogénea de 10 cm y formar un filtro. El filtro de las cáscaras de naranja tratadas con una remoción promedio de 81.96 % fue el tratado a 150°C. El filtro que obtuvo un 88.65 % de remoción del colorante con las cáscaras de limón tratadas fue de 150°C. El tratamiento térmico realizado a los residuos de naranja y limón dieron resultados efectivos en cuanto a la remoción del colorante azul de metileno.

*Palabras clave:* residuos de naranja y limón, azul de metileno, filtro, tratamiento térmico y porcentaje de remoción

## Abstract

Dyes in wastewater are difficult to degrade and can cause the death of aquatic ecosystems; therefore, their removal is necessary. In this study, orange and lemon peel waste was thermally treated in a low-temperature pyrolysis reactor, and the percentage of methylene blue removal was evaluated. Orange and lemon peels were collected from the market and taken to the laboratory, where they were cleaned, cut, weighed, and individually thermally treated in a low-temperature pyrolysis reactor (150 and 170°C) with a residence time of 1 hour. The treated waste was arranged in a homogeneous 10 cm layer to form a filter. The filter of orange peels treated at 150°C achieved an average removal rate of 81.96%. The filter of lemon peels treated at 150°C achieved 88.65% dye removal. The heat treatment performed on the orange and lemon waste yielded effective results in terms of removing the methylene blue dye.

*Keywords:* Residue of orange and lemon, methylene blue, filter, heat treatment and removal percentage.

## INTRODUCCIÓN

La gestión inadecuada de los residuos de naranja y el limón provocan impactos ambientales importantes en el suelo y el agua. El manejo y tratamiento de estos residuos es complicado debido a sus características fisicoquímicas como: su pH ácido, su humedad residual, su contenido de aceites esenciales, y su estacionalidad en producción (Calabro, et. al., 2020). Las estrategias comúnmente empleadas en los lugares donde se producen en grandes cantidades son: a) la venta de estos residuos para generar energía renovable en calderas; b) como suplemento alimenticio de ganado al deshidratarlo y c) la venta a otras empresas para la obtención de pectina y otros subproductos (Galindo-Segura, et. al., 2023), pero en México, el consumo de cítricos es muy común en los mercados donde se venden jugos de naranja y tacos y muchos de estos residuos llegan a los tiraderos donde acidifica el suelo ó a sitios donde dificulta su tratamiento en especial, si es compostaje. Los residuos naranja y limón se han utilizado para la remoción de metales pesados como Níquel y cadmio (Villenguzmán, et. al., 2021) principalmente cuando son deshidratados (estufa 60°C) o carbonizados (reactor de pirolisis a más de 450°C). En este trabajo se evaluó la remoción de azul de metileno en solución acuosa de los residuos naranja y limón tratados térmicamente en un reactor de pirolisis a baja temperatura (150 y 170°C), este rango de temperatura permitirá reducir a) la generación de homo (residuos deshidratados); b) el gasto de energía cuando son pirolizados y c) los costos por la activación, además de aprovechar los grupos funciones que ya contienen las cascaras de estos residuos.

## DESARROLLO

### OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

#### General

Evaluar la remoción de azul de metileno en solución acuosa de los residuos naranja y limón tratados térmicamente en un reactor de pirolisis a baja temperatura (150 y 170°C).

#### Específicos

- Recolectar los residuos cítricos del mercado
- Tratar térmicamente los residuos de naranja y limón a la temperatura de 150 y 170 °C por una hora de tiempo de residencia en el reactor de pirolisis.
- Evaluar la remoción de azul de metileno en solución acuosa de los de residuos naranja y limón tratados térmicamente

## OBJETO DE ESTUDIO

Las cascaras de los residuos cítricos está formada por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina (Zahra Maqbool, et. al., 2023) apropiada para la adsorción de colorantes, como las cascaras de naranja (Vargas, et. al., 2009) y limón (Macías Juárez, I. (2022)). En este trabajo, se estudia el efecto la temperatura aplicada a las cascaras de naranja y limón tratadas a 150 y 170°C en un reactor de pirolisis en atmosfera reducida, al remover el azul de metileno en solución acuosa, ya que en este rango de temperaturas no se degrada la hemicelulosa (promedio de 190°C), celulosa (promedio de 323°C) y lignina (promedio de 487°C) (Quesada-González, 2011) y evaluar el porcentaje de remoción de azul de metileno en cada material obtenido.

## METODOLOGÍA

### FASES DEL DESARROLLO

Esta investigación se realizó en dos etapas: Etapa 1. Recolección y acondicionamiento térmico de los residuos y Etapa 2. Evaluación de la remoción de cada filtro de material tratado.

#### **Etapa 1.** Recolección y acondicionamiento térmico de los residuos

Esta etapa tiene dos actividades principales: la recolección y acondicionamiento de los residuos naranja y limón y el tratamiento térmico de los residuos.

- a) **Recolección y limpieza de los residuos cítricos.** Los residuos se recolectaron en el mercado de Santiago Tianguistenco posteriormente se transportaron al laboratorio, a las cascaras se les quito el bagazo y fueron cortadas y pesadas en una balanza granataria como se observa en la figura 1.



Figura 2 Recolección y acondicionamiento de los residuos de naranja y limón. Fotografías propias

- b) **Tratamiento térmico de los residuos.** Los residuos de naranja y limón se trataron térmicamente en un reactor cilíndrico de pirólisis con un tiempo de residencia de una hora con las siguientes temperaturas de 150°C y 170°C.

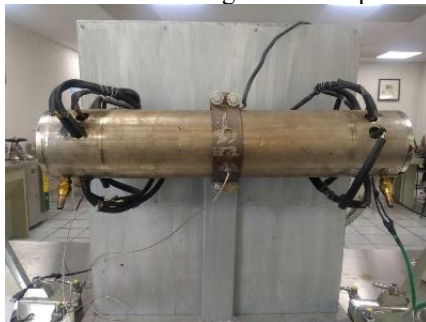


Figura 3. Reactor de pirólisis. Fotografías propias

## Etapa 2 Evaluación de la remoción de cada filtro de material tratado

Esta etapa tiene dos actividades principales: a) la preparación del agua sintética y la curva de calibración y b) la evaluación de la remoción del colorante en solución acuosa.

- a) **Preparación de agua sintética.** Se preparó una solución de azul de metileno a 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 mg/L (ver figura 3) y se analizaron en espectrofotómetro HATCH (ver figura 4) del laboratorio de química analítica a una longitud de onda de 665 nm para obtener la curva de calibración.



Figura 3. Solución inicial para curva de calibración Fotografías propias



Figura 4. Espectrofotómetro HACH. Fotografías propias

- b) **Evaluación de la remoción del colorante en solución acuosa.**

Los residuos tratados de naranja y limón se acomodaron en una capa homogénea de 10 cm y formar un filtro. Cada filtro es evaluado de forma individual al agregarse una solución de 500 ml de azul de metileno con una concentración de 80 mg/L como se muestra en la figura 5. El filtro se colocó dentro de un recipiente para que la luz degradara el azul de metileno, además se utilizó una llave de paso y aspersor para mantener el flujo de agua con colorante homogéneo y controlado y se realizaron tres filtrados a cada muestra y se recolectaron una muestra por cada filtrado para su análisis.



Figura 5 Sistema usado para la evaluación de la filtración

Una vez recolectado los filtrados se analizaron en el equipo HACH para obtener absorbancias y calcula el % de remoción de colorante de azul de metileno al aplicar la siguiente ecuación (1)( Villen- Guzmán, et. al., 2021):

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * (100) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$C_o$  = concentración inicial (mg/L)

$C_f$  = concentración final (mg/L)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Tabla 1**, se muestran las fotografías de las cascaras de naranja frescas y después del acondicionamiento térmico a 150°C y 170 °C con un tiempo de residencia de una hora, observándose el cambio de color naranja característico de las cascara de naranja a un color negro con puntas amarillas en la temperatura de 150°C pero en la temperatura de 170°C están casi completamente negras.

**Tabla 1** Fotografías del proceso térmico de las cascaras de naranja

<i>Sin tratamiento</i>	<i>Naranja a 150°C</i>	<i>Naranja a 170°C</i>
		

Fotografías propias

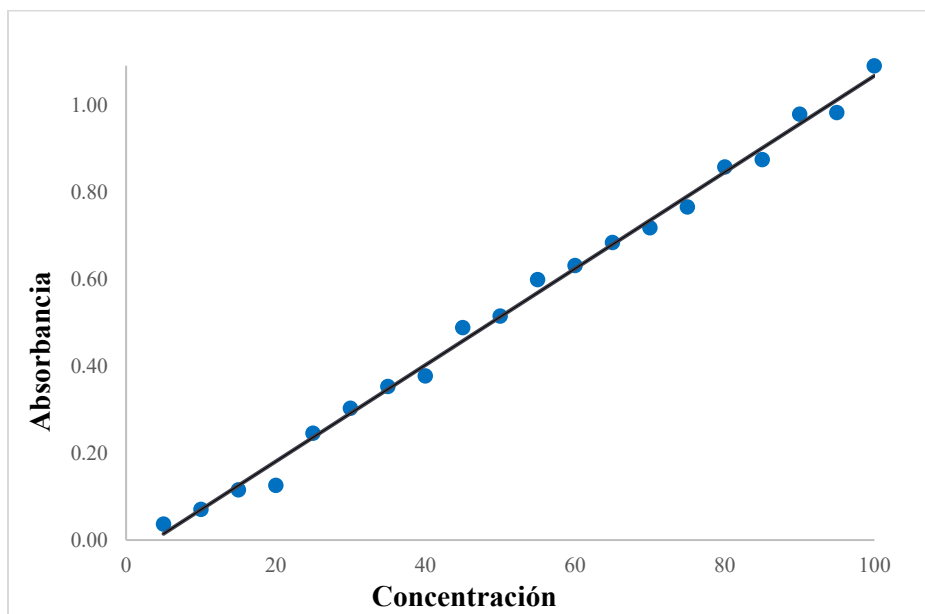
En la **Tabla 2**, se muestran las fotografías de las cascara de limón del antes y después del tratamiento térmico en el reactor de pirolisis a 150 y 170 °C con un tiempo de residencia de 60 minutos, observándose un cambio de color verde característico de las cascara de limón a un color negro con puntas marrones en la temperatura de 150°C y negro opaco en las cascaras de 170°C.

**Tabla 2** Fotografías del proceso térmico de las cascara de limón

<i>Sin tratamiento</i>	<i>limón a 150°C</i>	<i>Limón a 170°C</i>
		

Fotografías propias




La curva de calibración del azul de metileno se muestra en la **figura 1**, con  $R^2= 0.9951$ .



**Figura 1.** Curva de calibración del azul de metileno. Elaboración propia




En la **Tabla 3**, se muestran los resultados del porcentaje remoción en cada filtrado del azul de metileno en las cascara de naranja tratadas a 150°C y 170°C. En el residuos de cascara de naranja a 150°C obtuvieron una remoción inicial de 77.51%, se incrementó a 82.42% y finalmente termino en 85.95%. En el caso de las cascara de naranja tratada a 170°C, removió inicialmente 72.5 %, este se incrementó a 81.46% en el segundo filtrado y finalmente removió un 83.9%. Siendo la cascara de naranja tratada a 150°C el mejor material que remueve el azul de metileno. Ambos materiales presentaron una remoción ligeramente mayor a la obtenida por Vargas Rodríguez, et. al., 2009 al remover un 74.5 % colorante Lanazol Navy CE en aguas textiles.

**Tabla 3** Fotografías de la remoción de cascara de naranja tratadas térmicamente

<i>Solución inicial</i>	<i>Solución final después del filtrado con la cascara de naranja tratada a 150°C</i>	<i>Solución final después del filtrado con la cascara de naranja tratada a 170°C</i>
		
<i>% remoción 1er filtrado</i>	77.51	72.5
<i>% remoción 2do filtrado</i>	82.42	81.46
<i>% remoción 3er filtrado</i>	85.95	83.9
<i>% remoción promedio</i>	81.96	79.42
<i>Cambios de color</i>	<i>Azul tenue</i>	<i>Azul intermedio</i>

En la **Tabla 4**, se muestran los resultados la remoción de las cascara de limón tratadas a 150°C y 170°C obtenidas en cada filtrado con el azul de metileno. Las cascara de limón tratadas a 170°C, obtuvieron una remoción inicial de 81.46 %, se incrementó a 84.26% y en el tercer filtrado termino en 85.33%. Las cascara de limón tratadas a 150°C, removieron inicialmente 80.53 %, en el segundo filtrado se incrementó a 87.72 % y finalmente removió un 95.5%, por ello, tiene potencial para ocuparse como biomaterial de bajo costo.

**Tabla 4** Fotografías de la remoción de cascara de limón tratadas térmicamente

<i>Solución inicial</i>	<i>Solución final después del filtrado con la cascara de limón tratada a 150°C</i>	<i>Solución final después del filtrado con la cascara de limón tratada a 170°C</i>
		
<i>% remoción 1er filtrado</i>	80.53	81.46
<i>% remoción 2do filtrado</i>	87.72	84.26
<i>% remoción 3er filtrado</i>	97.7	85.33
<i>% remoción promedio</i>	88.65	83.68
<i>Cambios de color</i>	<i>Casi transparente</i>	<i>Azul tenue</i>

En la **figura 2**, se muestra el análisis termogravimétrico realizado a la muestra de cascara de limón tratadas térmicamente a los 150°C con un tiempo de residencia de 60 minutos, este material presento la mejor remoción, por ello, se analiza el efecto del calor en las cascara, se observan cuatro puntos importantes en la pérdida de masa: a) en el primer punto se pierde un 7.2% de masa que se asocia a la pérdida de la humedad y sustancias volátiles de la cascara de limón, b) en el segundo punto se observa una pérdida de 29.9% en un rango de temperatura de 200 a 360°C, la cual se asocia a la pérdida de hemicelulosa, c) en el tercer punto la pérdida de masa es de 8.7% en un rango de los 360 a 420°C, que se asocia a la pérdida de celulosa y d) en el cuarto punto se observa la pérdida más significativa en el intervalo de 420 a 700°C que se asocia a la pérdida de la lignina y formación del carbón (Quesada-González, 2011), este análisis confirma que los grupos de interés que fue la celulosa, lignina y la hemicelulosa siguen presentes en el las cascara de limón tratada a 150°C.

## %PERDIDA DE MASA

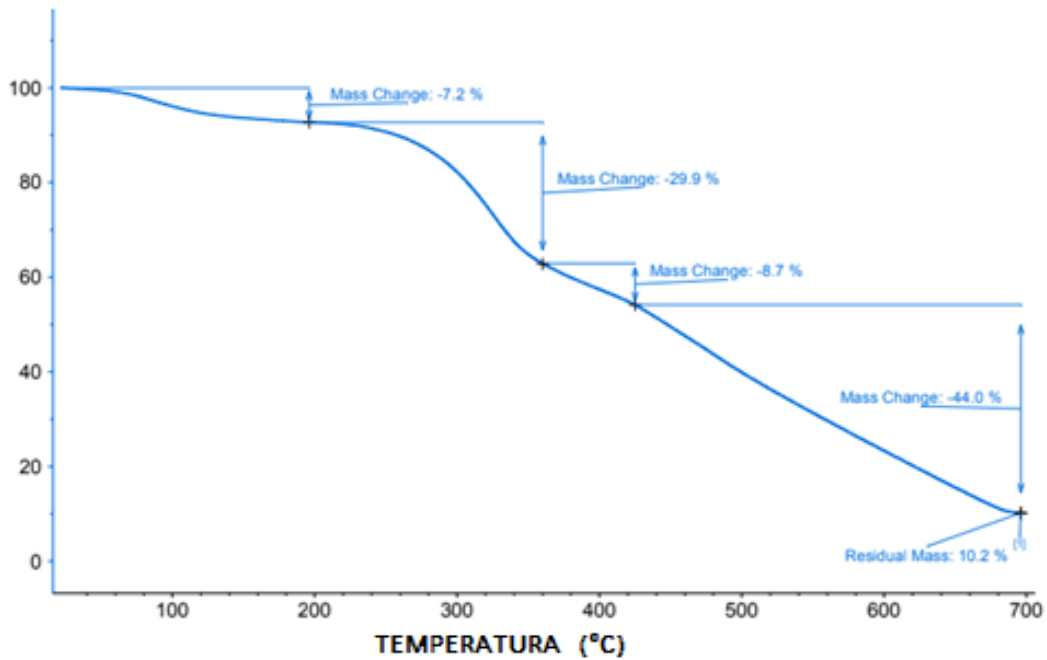


Figura 2. Análisis termogravimétrico de cascara de limón tratada térmicamente a 150°C. Propia

## CONCLUSIÓN

Las cascara de limón y naranja tratadas térmicamente en un reactor de pirólisis a temperaturas de 150°C y 170°C, removieron el azul de metileno en solución acuosa, en los cuatro materiales se observó un cambiando de color de azul intenso pasando por un azul más tenue y casi llega al transparente. El filtro de cáscara de naranja tratada a 150°C presento una remoción promedio de 81.96% y a la temperatura de 170°C, el promedio de la remoción fue de 79.42%. En el caso, del filtro de las cascara de limón tratadas a 170°C, la remoción promedio fue de 83.68% y para la temperatura de 150°C el promedio de remoción fue de 88.65%. Con el análisis termogravimétrico de las cascara de limón tratados a 150°C, permitió comprobar que hay presencia de lignina, hemicelulosa y celulosa donde se removió el azul de metileno.

## BIBLIOGRAFÍA

Calabrò, P. S., Fazzino, F., Sidari, R., & Zema, D.. (2020). Optimization of orange peel waste ensiling for sustainable anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 154, 849-862. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.047>

Galindo-segura, Luis Alan, Pérez-Vázquez, Arturo, Ramírez-Martínez, Alejandra, López-Romero, Gustavo y Gómez-Merino, Fernando Carlos. (2024). El Manejo del Bagazo de Naranja en la Zona Centro del Estado de Veracruz. *Terra Latinoam* [online]. vol.41. ISSN 2395-8030.

Macías Juárez, I.. (2022). Adsorción de colorantes textiles en agua mediante carbón activado obtenido de serrín y cáscara de limón. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16332>

Quesada-González, Omaid; Torres-García, E.; Alfonso-Martínez, F. E. (2011). Estudio de la degradación térmica del residuo de la naranja. *Revista Cubana de Química*, vol. XXIII, núm. 1, pp. 25-33

Vargas Rodríguez, M.; Cabañas Vargas, D; Gamboa Marrufo, M.; Domínguez Benetton, X.. (2009). Evaluación del proceso de liosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería*, vol. 13, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 39-43. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México.

Villen-Guzman M., Cerrillo-González M.M, Paz-García J.M., Rodríguez-Maroto J.M y Arhoun B.. (2021). Valorization of lemon peel waste as biosorbent for the simultaneous removal of nickel and cadmium from industrial effluents. *Environmental Technology & Innovation* 21, 101380.

Zahra Maqbool, Waseem Khalid, Hafiz Taimoor Atiq, Hyrije Koraqi, Zaryab Javaid, Sadeq K. Alhag, Laila A. Al-Shuraym, Mohammed Almarzuq, Mohamed Afifi and Ammar AL-Farga.(2023). Citrus Waste as Source of Bioactive Compounds: Extraction and Utilization in Health and Food Industry. *Molecules* Volume 28. Issue 4.

# IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA 5S EN EL AULA DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.972

García Guerrero Andrea Michel.<sup>1</sup>, Macías González María del Consuelo.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TecNM/ Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / [253111089@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:253111089@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>2</sup> TecNM/ Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / [maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx)

## Línea de investigación: Administración de la Calidad.

### Resumen

En el presente trabajo de investigación se analiza cómo la implementación de la metodología japonesa de las 5S (Clasificar, Organizar, Limpiar, Estandarizar y Disciplinar) puede transformar las aulas y laboratorios de las preparatorias en espacios más seguros y eficientes. La premisa central es simple pero poderosa: un entorno de trabajo limpio y ordenado no solo previene accidentes, sino que reduce las distracciones, mejora la disciplina y crea la atmósfera ideal para que los estudiantes se concentren y aprendan mejor.

Para ponerlo a prueba, se desarrolló una investigación-acción, un enfoque práctico que combinó la observación detallada del estado inicial de los planteles con la intervención directa en los espacios. Lo más valioso del proceso fue el papel de los estudiantes, quienes no fueron simples espectadores, sino los protagonistas encargados de limpiar, organizar y diseñar las nuevas reglas de convivencia y mantenimiento de sus talleres.

Los resultados obtenidos demuestran que el orden físico impacta de forma directa en la mentalidad del estudiante. Al involucrarse en el cuidado de su escuela, los jóvenes no solo optimizaron sus áreas de estudio, sino que desarrollaron hábitos, valores y habilidades socioemocionales clave, como la responsabilidad, la constancia y el trabajo en equipo; competencias que van más allá del aula y que serán herramientas fundamentales para su futuro desempeño en el mundo laboral (Vásquez y Ramírez, 2020).

*Palabras clave: Ordenar, Media Superior, Mejora Continua, Estudiantes, Habilidades.*

### Abstract

This research study analyzes how implementing the Japanese 5S methodology (Sort, Set in Order, Shine, Standardize, and Sustain) can transform high school classrooms and laboratories into safer, more efficient spaces. The central premise is simple yet powerful: a clean, organized environment not only prevents accidents but also reduces distractions, improves discipline, and creates an ideal atmosphere for students to focus and learn effectively.

To test this, an action research approach was employed—a practical method combining detailed observation of the schools' initial state with direct intervention in the spaces themselves. A key highlight of the process was the role played by the students; far from being mere spectators, they were the protagonists responsible for cleaning, organizing, and devising the new rules for the upkeep and shared use of their workshops.

The results demonstrate that physical order directly impacts students' mindsets. By actively participating in the care of their school, the young people not only optimized their study areas but also developed key habits, values, and socio-emotional skills—such as responsibility, perseverance, and teamwork. These competencies extend beyond the classroom and will serve as fundamental tools for their future performance in the workforce (Vásquez & Ramírez, 2020).

Keywords: Organize, Upper Secondary Education, Continuous Improvement, Students, Skills.

## INTRODUCCIÓN

En investigaciones actuales, lo que busca la calidad es mejorar de manera continua la eficiencia y eficacia de sus procesos, de esta manera se podrá satisfacer las necesidades del cliente con mayor resultado. Si se trabaja en una buena planificación, se depura y controlan los procesos de la institución, se obtendrán mejores resultados y rendimientos, para esto se puede implementar la metodología de las 5's. Según Pérez y Quintero (2017) crea y mantiene un área de trabajo limpio, organizado y seguro para el desarrollo de las actividades. Esto se puede llevarse a cabo aplicando los siguientes 5 pasos que provienen de términos japoneses:

Seiri (Eliminar): Significa remover todo lo que no se necesita en nuestra área de trabajo, para realizar las operaciones.

Seiton (Ordenar): Su principal función es organizar y clasificar los elementos de tal manera que cualquier persona pueda localizarlos y utilizarlos con facilidad (Raymundo, 2017).

Seiso (Limpieza): La cual debe identificar las principales fuentes de suciedad, los materiales u objetos deteriorados o dañados.

Seiketsu (Estandarización): Considerada como la consolidación de las metas obtenidas llevando a cabo los 3 primeros pasos. Estandarizar supone implementar de manera continua el método para que en los procesos o una actividad determinada la organización y el orden sean factores fundamentales (Pérez Quintero, 2017).

Shitsuke (Disciplina): Lo que principalmente busca este último paso es convertir en hábito la implementación de los métodos estandarizados, desarrollando una cultura de Autocontrol para que el personal de la Dirección General aplique la autodisciplina y para que la metodología de las 5's se convierta en algo fácil y cotidiano para ellos.

Es aquí donde la Educación Media Superior se centra, busca asegurar los objetivos obtenidos con los 3 pasos anteriores. Es por ello, que deben ser estandarizados para lograr una mejora continua. Estos pasos se tienen que realizar diariamente no solo en el área de atención al cliente, sino también, en las demás áreas que conforman la educación.

Shitsuke (Disciplina): Para poder convertir en un buen hábito la implementación de esta metodología se podrían brindar incentivos al personal, apegado al cumplimiento de las 5's, Asimismo, se propone tener una participación de supervisores, colaboradores y personal de atención en conjunto a fin del cumplimiento de las normas establecidas.

Los maestros de media superior tienen un reto grande: lograr que los estudiantes les pongan atención. El lugar donde estudian y los cambios normales que ellos viven en esa edad pueden hacer que les cueste más trabajo aprender. Si los salones y laboratorios están desordenados, se distraen fácil y se estresan visualmente. Aquí es donde la metodología de las 5S interviene. Y lo que se requiere es que la idea sea simple: en cuanto al cómo están los lugares físicos, influirá en cómo nos sentimos o pensamos. La meta de usar en este nivel educativo, es darles a los estudiantes una forma organizada de manejar su espacio. Así, se motiva toda la comunidad estudiantil a crear un mejor ambiente para que los estudiantes aprendan de la mejor manera y todos trabajen en equipo. (Arrieta Posada & Echeverri Gutiérrez, 2018).

## DESARROLLO

Para el desarrollo de este estudio es el uso de una herramienta que es de la industria, las 5S, para enseñar de una forma activa. Lo interesante es que, al diseñar los espacios con los propios estudiantes, se logra un cambio en cómo piensan y en cómo se comportan. Cuando los estudiantes toman el control de su entorno, esta forma nueva de trabajar les ayuda directamente a desarrollar habilidades importantes, como ser cívicos, liderar y ser más independientes.

## *OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

### **Objetivo General:**

Implementar la metodología de las 5S en aulas y laboratorios con la finalidad de optimizar los espacios de aprendizaje, reducir los tiempos de búsqueda de materiales y fomentar en los estudiantes hábitos de autodisciplina, responsabilidad compartida y cuidado de los bienes comunes.

### **Objetivos Específicos:**

Implementar una estrategia de jornada de depuración con el fin de identificar, separar y desechar todos los materiales, herramientas y trabajos obsoletos o innecesarios en el aula.

Diseñar e implementar un sistema de señalización y almacenamiento etiquetado de las herramientas y materiales de clase, optimizando la localización para su uso.

Fomentar una cultura de corresponsabilidad mediante la cual el estudiante dedique los últimos 5 minutos de cada sesión a limpiar su área de trabajo de manera voluntaria y consciente.

Diseño de reglamento de orden y roles rotativos de supervisión asegurando que las aulas y laboratorios mantengan los estándares de las 5S de forma sostenida a lo largo de todo el ciclo escolar.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio de esta investigación es la implementación de la metodología 5S en instituciones de Educación Media Superior, entendida como una estrategia de mejora continua orientada al fortalecimiento de la organización, el orden, la limpieza, la estandarización y la disciplina en los espacios educativos. Se analiza su aplicación en el contexto escolar y su influencia en la creación de ambientes de aprendizaje más eficientes, seguros y favorables para el desarrollo académico. Asimismo, se examinan los cambios generados en las prácticas cotidianas de estudiantes, docentes y personal administrativo, así como su contribución al fortalecimiento de una cultura institucional de calidad.

## *METODOLOGÍA*

La presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de Investigación Acción Participativa (IAP), al promover la intervención directa de los participantes en la identificación de áreas de mejora, la implementación de acciones y la evaluación de los resultados obtenidos. Asimismo, se adoptó un enfoque mixto o cualicuantitativo, integrando técnicas de recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos.

La información cualitativa se obtuvo mediante observaciones sistemáticas de las condiciones y dinámicas del aula antes y después de la implementación de la metodología 5S, mientras que los datos cuantitativos permitieron medir indicadores relacionados con el orden, la limpieza, el aprovechamiento de los espacios y los tiempos de organización. Esta combinación metodológica permitió una evaluación más objetiva de los efectos de la metodología, trascendiendo apreciaciones subjetivas como la mejora estética de los espacios, para generar evidencias verificables sobre su contribución al fortalecimiento de ambientes de aprendizaje más organizados, funcionales y propicios para el desarrollo académico en la Educación Media Superior.

### **1. Cualitativa (Los datos de observación y percepciones):**

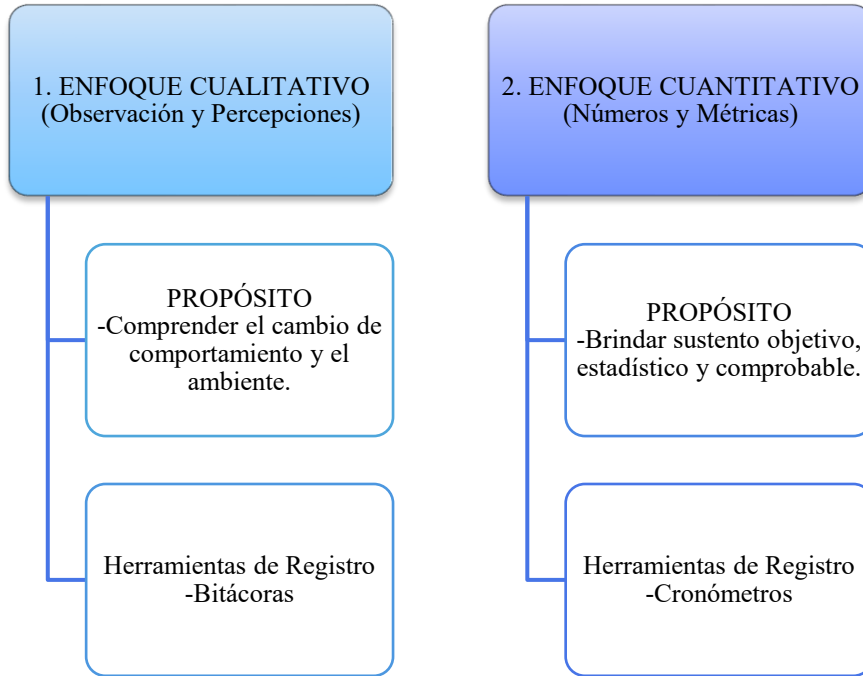
Sirve para entender el cambio de comportamiento y el ambiente. A través de bitácoras de observación, entrevistas o diarios de campo, se registra:

- Cómo cambia la actitud de los alumnos (si se muestran más responsables, colaborativos y comprometidos).
- El nivel de disciplina y respeto por el espacio común.
- La percepción de seguridad y comodidad visual que la comunidad estudiantil, administrativo y docente tienen dentro de la institución.

## 2. Cuantitativa (Los números y métricas):

Sirve para dar un sustento objetivo y medible al proyecto. A través de listas de cotejo numéricas, cronómetros y estadísticas, se mide:

- El tiempo exacto que se ahorra al buscar una herramienta (por ejemplo, reducirlo de 3 minutos a 20 segundos).
- El porcentaje de salones que lograron mantener la acreditación de las 5S.

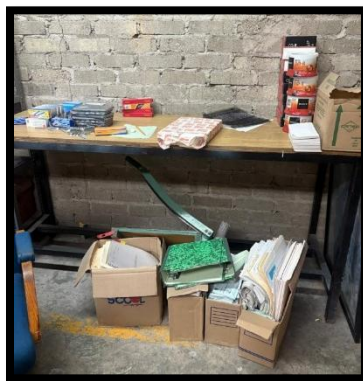


**Fig. 1 Metodología Cualicuantitativo**

A continuación, se describen de manera detallada las acciones ejecutadas en cada una de las fases que integran la metodología, adaptadas al contexto de la Educación Media Superior:

### Fase 1. Seiri (Clasificar)

Esta etapa inicial se consolidó a través de una jornada de "descarte" y depuración de espacios. Con la participación de estudiantes, personal administrativo y docentes, se realizó una auditoría física en los lugares de trabajo y salón de clases, en el que el proceso permite segregar de manera eficiente el material pedagógico vigente de aquellos elementos obsoletos o inservibles, tales como documentación de semestres anteriores, carpetas deterioradas, papelería dañada y consumibles escolares agotados, procediendo a su correcta disposición final o reciclaje, utilizando una etiqueta roja.



**Fig. 2 Fase 1. Seiri (Clasificar)**

### **Fase 2. Seiton (Organizar)**

Bajo el principio operativo de "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar", se procedió a la delimitación y ordenamiento de los recursos útiles. Los estudiantes implementaron un sistema de gestión visual mediante el uso de cintas de colores para delimitar las zonas de resguardo de mochilas, despejando así las vías de tránsito y pasillos. Asimismo, se etiquetaron los estantes bibliográficos y el instrumental de laboratorio, y se propuso el diseño de un mapa de distribución ideal (layout) como referente del estándar de orden requerido para el aula.

### **Fase 3. Seiso (Limpiar)**

Con el objetivo de instaurar la limpieza como un valor de corresponsabilidad y respeto mutuo, y no como una medida punitiva, se institucionalizó la estrategia "Los 3 minutos de oro" al cierre de cada sesión académica. Esta práctica habitual consistió en la limpieza inmediata de la superficie de trabajo, el alineamiento del mobiliario (sillas) y la recolección de cualquier residuo en el entorno circundante, asegurando condiciones óptimas para el grupo posterior.

### **Fase 4. Seiketsu (Estandarizar)**

Para garantizar la sostenibilidad de las tres primeras etapas, la comunidad estudiantil y docente diseñó y colocó infografías y carteles con el reglamento técnico del aula. Adicionalmente, se implementó un sistema de roles de liderazgo rotativos con periodicidad semanal (como los responsables de orden y de control de materiales). Esta estructura organizativa aseguró que los criterios de clasificación, organización y limpieza se ejecutaran de manera uniforme y sistemática.



(fig. 3 Reglamento Técnico del Aula)

#### Fase 5. Shitsuke (Disciplina)

La fase conclusiva se enfocó en la internalización del hábito y su transformación en un rasgo cultural del alumnado. Para evaluar la consistencia del programa, se diseñó un sistema de auditorías cruzadas semanales, donde diferentes comités estudiantiles evaluaban recíprocamente el desempeño de otros grupos (Grupo A evaluando al Grupo B, y viceversa). Finalmente, como estrategia de reforzamiento positivo, se estableció un reconocimiento mensual para el grupo que demostrara el mayor índice de apego y consistencia a los estándares establecidos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de 7 semanas de aplicar continuamente este proceso, los cambios se identifican claros, tanto mediante lo observable como en la proyección recolectada. Por ejemplo, el tiempo que tardaban en encontrar herramientas en el laboratorio bajó de 7.4 minutos a solo 45 segundos. Esto significó más tiempo real para las prácticas. El 84% de los alumnos dijo en las encuestas que se sentía más tranquilo y concentrado en clase. Los maestros contaron que los estudiantes cambiaron de actitud: existen menos problemas de disciplina y se sentían más orgullosos de su escuela, más parte de ella, una actitud de identidad institucional.

Identificando lo que pasa con las 5S es que cambian el orden, distinto a lo que normalmente propone el docente. Cuando los estudiantes se hacen cargo de su espacio, aprenden cosas importantes como liderazgo, trabajar en equipo y a ser más fuertes ante las dificultades. (Vásquez & Ramírez, 2020)

## CONCLUSIÓN

La implementación de la metodología de las 5S en el nivel bachillerato demuestra que la optimización de los entornos educativos no requiere de grandes inversiones financieras, sino de un cambio de paradigma en la gestión del aula. Su valor fundamental trasciende la estética, la limpieza o el simple atractivo visual de los laboratorios y salones; se consolida, en cambio, como una potente herramienta formativa e integral para los estudiantes en una etapa crucial de su desarrollo.

El impacto de este proyecto se puede sintetizar en tres dimensiones clave, el impacto cognitivo y estructural, donde existe una relación directa entre el entorno físico y los procesos mentales. Al aprender a clasificar, organizar y mantener su espacio, los jóvenes desarrollan un pensamiento más estructurado. Este orden externo actúa como un catalizador que les permite estructurar mejor sus ideas, priorizar metas, planificar proyectos académicos y transferir estos hábitos a su vida personal.

Como segunda dimensión, identificamos el desarrollo de competencias socioemocionales, donde involucrar a los estudiantes como protagonistas de la metodología fomenta valores indispensables como la responsabilidad compartida, el respeto por los bienes comunes y la autodisciplina.

Por último, la preparación para el futuro laboral, es el transformar el aula en un espacio eficiente y seguro simula las condiciones de calidad y orden que exige el mundo profesional actual. Los estudiantes no solo adquieren conocimientos técnicos, sino que interiorizan estándares de productividad y seguridad, tales como algunas de ellas los brindan otorgados por CONOCER (Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales), entidad del Gobierno Federal de México, sectorizada a la Secretaría de Educación Pública (SEP), que reconoce oficialmente los conocimientos, habilidades y destrezas de las personas adquiridas a lo largo de su vida, mismas que les otorgarán una ventaja competitiva al incorporarse al mercado de trabajo.

En conclusión, diseñar y mantener un aula organizada es, en última instancia, una estrategia pedagógica de alto impacto. Al transformar el espacio físico, transformamos la mentalidad del estudiante, creando el escenario ideal para potenciar tanto su rendimiento académico actual como su éxito profesional futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

Arrieta Posada, J. G., & Echeverri Gutiérrez, J. A. (2018). *Metodología 5S: Una herramienta para la mejora de la calidad y productividad en las instituciones educativas*. Revista Virtual Universidad Católica del Norte, (54), 112-129.

García-Mendoza, A., & Pérez-Martínez, M. (2021). *El impacto del entorno físico en la atención y el rendimiento académico de los estudiantes de bachillerato*. Revista de Investigación en Educación Media Superior, 9(2), 45-58.

Osada, T. (1991). *The 5S's: Five keys to a total quality environment*. Asian Productivity Organization.

Vásquez, L. F., & Ramírez, J. C. (2020). *Aplicación de herramientas de manufactura esbelta (Lean) en el sector educativo: Casos de estudio en educación técnica y tecnológica*. Ingeniería y Competitividad, 22(1), e9034.

# DESARROLLO DE CITYREPORTAPP: APLICACIÓN MÓVIL PARA EL REPORTE DE INCIDENCIAS URBANAS CON ENFOQUE DE RESPONSABILIDAD SOCIAL

DOI: 10.60968/IAET.3594-035X.976

Dra. Zulma Sánchez Estrada<sup>1</sup>, Dr. Jorge Noriega Zenteno<sup>2</sup>, Leslie Vianey Chavez Molina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica del Valle de México/Personal, e-mail: [zulma.sanchez@upvm.edu.mx](mailto:zulma.sanchez@upvm.edu.mx)

<sup>2</sup>Universidad Politécnica del Valle de México/Personal, e-mail: [jorge.noriega@upvm.edu.mx](mailto:jorge.noriega@upvm.edu.mx)

<sup>3</sup>Universidad Politécnica del Valle de México /Personal, e-mail: [leslie.chavez@upvm.edu.mx](mailto:leslie.chavez@upvm.edu.mx)

## Línea de investigación: Tecnologías de la Información

### Resumen

Actualmente, diversas ciudades del Estado de México enfrentan problemas relacionados con la infraestructura urbana, como baches, fallas en el alumbrado público y acumulación de residuos sólidos, los cuales afectan la movilidad, la seguridad y la calidad de vida de la población. La atención de estas incidencias suele verse limitada por la ausencia de canales de comunicación eficientes entre la ciudadanía y las autoridades municipales.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar **CityReportApp**, una aplicación móvil orientada a facilitar el reporte y seguimiento de incidencias urbanas, fortaleciendo la participación ciudadana y contribuyendo a una gestión más eficiente de los servicios públicos. La investigación se desarrolló bajo un enfoque de desarrollo tecnológico con alcance descriptivo, utilizando la metodología **Design Thinking**, integrada por las fases de empatizar, definir, idear, prototipar y testear. Durante la fase de empatía se aplicaron **50 encuestas** y **10 entrevistas semiestructuradas** a ciudadanos para identificar las principales problemáticas relacionadas con la infraestructura urbana, los mecanismos actuales de reporte y las necesidades de los usuarios.

Los resultados obtenidos mostraron que **más del 70 % de los participantes manifestó su disposición para utilizar una aplicación móvil que permitiera reportar incidencias urbanas y dar seguimiento en tiempo real a sus solicitudes**. Asimismo, las pruebas piloto realizadas con usuarios permitieron validar la funcionalidad del prototipo, identificando oportunidades de mejora en la navegación, la organización de la información y la experiencia de uso. Los hallazgos evidencian que la incorporación de tecnologías móviles puede fortalecer la comunicación entre ciudadanía y autoridades, favoreciendo procesos más eficientes y transparentes para la atención de incidencias urbanas.

Se concluye que **CityReportApp** constituye una alternativa tecnológica con potencial para mejorar la gestión de incidencias urbanas, incrementar la participación ciudadana y contribuir al desarrollo de ciudades más inteligentes, sostenibles y socialmente responsables. Asimismo, el proyecto demuestra que la integración de herramientas digitales en la gestión pública puede favorecer la toma de decisiones y fortalecer la corresponsabilidad entre sociedad y gobierno.

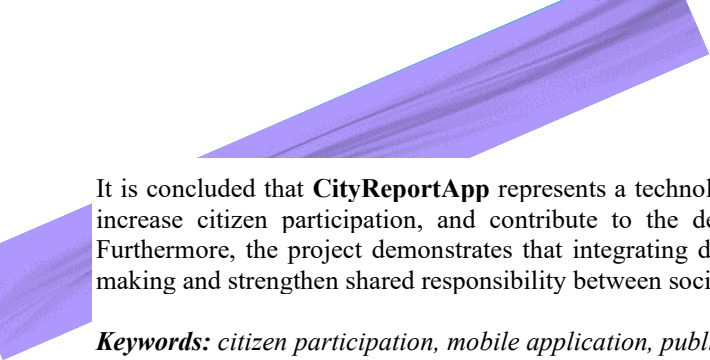
***Palabras clave:** aplicación móvil, ciudades inteligentes, incidencias urbanas, participación ciudadana, servicios públicos.*

### Abstract

Currently, several cities in the State of Mexico face urban infrastructure problems, including potholes, streetlight failures, and the accumulation of solid waste, which negatively affect mobility, public safety, and citizens' quality of life. The timely resolution of these issues is often hindered by the lack of efficient communication channels between citizens and municipal authorities.

The objective of this research was to develop **CityReportApp**, a mobile application designed to facilitate the reporting and monitoring of urban incidents, strengthen citizen participation, and contribute to a more efficient management of public services. The study followed a **descriptive technological development approach** using the **Design Thinking** methodology, which included the phases of empathize, define, ideate, prototype, and test. During the empathy phase, **50 surveys** and **10 semi-structured interviews** were conducted with citizens to identify the main urban infrastructure problems, current reporting mechanisms, and user needs.

The results showed that **more than 70% of the participants expressed their willingness to use a mobile application** for reporting urban incidents and monitoring the status of their requests in real time. Furthermore, pilot testing with users validated the functionality of the prototype and identified opportunities to improve navigation, information organization, and overall user experience. The findings demonstrate that the implementation of mobile technologies can strengthen communication between citizens and local authorities, promoting more efficient and transparent urban incident management.



It is concluded that **CityReportApp** represents a technological alternative with the potential to improve urban incident management, increase citizen participation, and contribute to the development of smarter, more sustainable, and socially responsible cities. Furthermore, the project demonstrates that integrating digital technologies into public management can support informed decision-making and strengthen shared responsibility between society and government.

**Keywords:** *citizen participation, mobile application, public services, smart cities, urban incidents.*

## INTRODUCCIÓN

Las ciudades enfrentan de manera constante desafíos relacionados con la gestión de la infraestructura urbana, entre los que destacan la presencia de baches, fallas en el alumbrado público, acumulación de residuos sólidos y otras incidencias que afectan la movilidad, la seguridad y la calidad de vida de la población. Estas problemáticas representan un reto para las administraciones municipales, ya que requieren mecanismos eficientes de identificación, atención y seguimiento que permitan responder oportunamente a las necesidades de la ciudadanía (ONU-Hábitat, 2022).

Uno de los principales factores que limita una atención eficiente es la ausencia de canales de comunicación ágiles y estructurados entre los ciudadanos y las autoridades responsables de los servicios públicos. Actualmente, gran parte de los reportes se realizan mediante llamadas telefónicas, redes sociales o de forma presencial, mecanismos que dificultan el seguimiento de las solicitudes, generan duplicidad de información y reducen la transparencia en los procesos de atención. En este contexto, la incorporación de herramientas digitales representa una oportunidad para fortalecer la participación ciudadana, mejorar la interacción entre gobierno y sociedad y optimizar la gestión de incidencias urbanas (Banco Mundial, 2023).

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), así como el crecimiento del uso de dispositivos móviles, ha impulsado nuevas estrategias para modernizar la administración pública y fortalecer la participación ciudadana. En el marco de las ciudades inteligentes (*Smart Cities*), las aplicaciones móviles permiten recopilar información en tiempo real, facilitar la toma de decisiones basada en datos y mejorar la eficiencia de los servicios públicos mediante procesos más transparentes, colaborativos y orientados a las necesidades de la población (ISO 37122, 2019; United Nations, 2023).

En respuesta a esta problemática, el presente trabajo propone el desarrollo de **CityReportApp**, una aplicación móvil diseñada para facilitar el reporte y seguimiento de incidencias urbanas mediante una interfaz intuitiva que permita a los ciudadanos registrar problemas relacionados con la infraestructura pública, incorporando información como ubicación geográfica, descripción y evidencia fotográfica. Asimismo, la aplicación integra un sistema de seguimiento en tiempo real que favorece la comunicación entre ciudadanía y autoridades municipales, fortaleciendo la transparencia, la corresponsabilidad social y la participación ciudadana en la mejora del entorno urbano.

El objetivo de esta investigación es desarrollar una aplicación móvil que contribuya a mejorar la gestión de incidencias urbanas mediante el fortalecimiento de la comunicación entre ciudadanos y autoridades municipales. Para ello, se empleó la metodología **Design Thinking**, la cual permitió comprender las necesidades de los usuarios mediante técnicas de investigación social, diseñar una propuesta tecnológica centrada en el ciudadano y validar un prototipo funcional a través de pruebas piloto. Con ello, se busca aportar una solución tecnológica que contribuya al desarrollo de ciudades más inteligentes, sostenibles y socialmente responsables, promoviendo una gestión pública más eficiente e impulsando la participación activa de la ciudadanía en la solución de problemáticas urbanas.

## DESARROLLO

El desarrollo de **CityReportApp** se fundamenta en la integración de tecnologías móviles y estrategias de participación ciudadana para mejorar la gestión de incidencias urbanas. La propuesta responde a la necesidad de establecer mecanismos digitales que faciliten la comunicación entre la población y las autoridades municipales, contribuyendo a optimizar los procesos de reporte, seguimiento y atención de problemáticas relacionadas con la infraestructura urbana. De acuerdo con **Nam y Pardo (2011)**, las ciudades inteligentes integran las tecnologías de la información con la participación de la ciudadanía para fortalecer la gobernanza y mejorar la prestación de los servicios públicos.

A diferencia de los mecanismos tradicionales, como llamadas telefónicas, atención presencial o publicaciones en redes sociales, **CityReportApp** centraliza la información en una plataforma digital que permite registrar incidencias de manera estructurada mediante la incorporación de datos como ubicación geográfica, descripción del problema y evidencia fotográfica. Esta integración favorece la calidad de la información generada, facilita la identificación de las incidencias y contribuye a optimizar los tiempos de respuesta por parte de las autoridades competentes.

Uno de los principales componentes de la aplicación es el sistema de seguimiento en tiempo real, el cual permite a los usuarios consultar el estado de sus reportes durante las diferentes etapas del proceso de atención. Esta funcionalidad fortalece la transparencia en la gestión pública, promueve la rendición de cuentas y mejora la experiencia del usuario al proporcionar información actualizada sobre el avance de cada incidencia reportada.

Desde la perspectiva de la gestión pública, la plataforma permite centralizar y organizar la información generada por la ciudadanía, facilitando la priorización de incidencias y apoyando la toma de decisiones basada en datos. Asimismo, el almacenamiento sistemático de los reportes puede contribuir a identificar patrones de ocurrencia, zonas con mayor incidencia y necesidades prioritarias de intervención, proporcionando información útil para la planeación y administración de los servicios públicos. En este sentido, el **Banco Mundial (2023)** señala que la transformación digital en la administración pública favorece una gestión más eficiente, transparente y orientada a las necesidades de la ciudadanía.

En el ámbito social, **CityReportApp** fomenta la participación activa de la ciudadanía al ofrecer un medio accesible para involucrarse en la mejora del entorno urbano. La interacción entre ciudadanos y autoridades fortalece la corresponsabilidad social, incrementa la confianza en las instituciones públicas y promueve una cultura de colaboración para la atención de problemáticas comunitarias.

Finalmente, el desarrollo de **CityReportApp** se alinea con los principios de las ciudades inteligentes (*Smart Cities*), al incorporar tecnologías digitales que favorecen una gestión urbana más eficiente, transparente y sostenible. En este sentido, la aplicación constituye una alternativa tecnológica con potencial para fortalecer la administración municipal, mejorar la calidad de los servicios públicos y contribuir al desarrollo de comunidades más seguras, organizadas y socialmente responsables.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### Objetivo general

Desarrollar y validar un prototipo funcional de la aplicación móvil **CityReportApp** para optimizar el reporte y seguimiento de incidencias urbanas, fortaleciendo la comunicación entre la ciudadanía y las autoridades municipales mediante una herramienta tecnológica accesible, con el propósito de incrementar la eficiencia en la atención de los reportes ciudadanos.

### Objetivos específicos

- Identificar las principales problemáticas relacionadas con la infraestructura urbana mediante la aplicación de instrumentos de recolección de información dirigidos a la ciudadanía.
- Analizar las necesidades y expectativas de los usuarios respecto a los mecanismos actuales para el reporte de incidencias urbanas.
- Diseñar un prototipo funcional de la aplicación móvil **CityReportApp** utilizando la metodología **Design Thinking**.
- Evaluar la funcionalidad y aceptación del prototipo mediante pruebas piloto con usuarios potenciales.
- Analizar el potencial de la aplicación para fortalecer la comunicación entre ciudadanos y autoridades municipales.

**Observación:** Eliminó "durante el cuatrimestre 2026-2027" porque los objetivos de investigación no deben limitarse por un periodo académico, sino por el alcance del estudio.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación es el **desarrollo y validación de una aplicación móvil para la gestión de incidencias urbanas**, orientada a fortalecer la comunicación entre la ciudadanía y las autoridades municipales mediante el uso de tecnologías móviles.

La investigación analiza la viabilidad de implementar una herramienta digital que permita registrar, organizar y dar seguimiento a incidencias relacionadas con la infraestructura urbana, incorporando funcionalidades como geolocalización, evidencia fotográfica y monitoreo del estado de los reportes. Asimismo, se evalúa su potencial para mejorar la eficiencia en la gestión de los servicios públicos y promover una mayor participación ciudadana.

Desde la perspectiva de la responsabilidad social y las ciudades inteligentes (*Smart Cities*), el estudio examina cómo el uso de tecnologías de la información puede favorecer la corresponsabilidad entre gobierno y sociedad, incrementando la transparencia en los procesos de atención de incidencias y fortaleciendo la confianza de la población en las instituciones públicas.

Finalmente, el objeto de estudio comprende el análisis del impacto que puede generar una aplicación móvil en la optimización de la gestión urbana, la participación ciudadana y la mejora de la calidad de vida, contribuyendo al desarrollo de entornos urbanos más sostenibles, eficientes y socialmente responsables.

## METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un **enfoque descriptivo con orientación al desarrollo tecnológico**, empleando la metodología **Design Thinking**, la cual permite diseñar soluciones innovadoras centradas en las necesidades de los usuarios mediante un proceso iterativo de análisis, diseño y validación (Brown, 2009).

Esta metodología comprende cinco etapas: **empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar**, las cuales facilitaron la identificación de las necesidades de la ciudadanía, el diseño de una solución tecnológica y la validación de un prototipo funcional.

Durante la etapa de **empatizar**, se aplicaron **50 encuestas** y **10 entrevistas semiestructuradas** a ciudadanos del Estado de México, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los instrumentos permitieron identificar las principales problemáticas relacionadas con la infraestructura urbana, los mecanismos utilizados para reportar incidencias y las necesidades de los usuarios respecto a una plataforma digital para la gestión de reportes.

Posteriormente, en la etapa de **definir**, la información obtenida fue analizada mediante estadística descriptiva utilizando frecuencias y porcentajes, lo que permitió identificar los principales requerimientos funcionales de la aplicación y establecer los criterios de diseño del sistema.

En la fase de **idear**, se generaron diversas propuestas de solución considerando principios de usabilidad, accesibilidad y experiencia del usuario. Como resultado, se definió la arquitectura funcional de **CityReportApp**, incorporando módulos para el registro de incidencias, geolocalización, carga de evidencia fotográfica y seguimiento del estado de los reportes.

Durante la etapa de **prototipado**, se desarrolló un prototipo funcional de la aplicación, el cual fue sometido a pruebas piloto con usuarios potenciales para evaluar su funcionamiento, facilidad de uso y navegación.

Finalmente, en la fase de **evaluación**, se analizaron los resultados obtenidos durante las pruebas piloto, identificando oportunidades de mejora en la interfaz, la organización de la información y la experiencia del usuario. Los hallazgos permitieron validar la pertinencia de la propuesta tecnológica y establecer recomendaciones para futuras implementaciones en entornos reales.

### **Diseño metodológico**

La presente investigación se desarrolló bajo un **enfoque mixto**, ya que integró técnicas cuantitativas y cualitativas para comprender la problemática relacionada con la gestión de incidencias urbanas y diseñar una solución tecnológica centrada en las necesidades de los usuarios. El estudio tuvo un **alcance descriptivo**, debido a que permitió identificar las características de las problemáticas existentes, analizar los mecanismos actuales de reporte y describir el proceso de desarrollo de la aplicación móvil.

Asimismo, la investigación corresponde a un **diseño no experimental y de corte transversal**, ya que las variables fueron observadas sin manipulación y la información se recopiló en un único periodo de tiempo durante el desarrollo del proyecto.

La población de estudio estuvo conformada por ciudadanos del Estado de México. Para la obtención de la información se empleó un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, seleccionando **50 participantes** para la aplicación de encuestas y **10 ciudadanos** para la realización de entrevistas semiestructuradas, quienes fueron elegidos por su disposición para participar y por representar usuarios potenciales de la aplicación.

Como instrumentos de recolección de datos se utilizaron un **cuestionario estructurado**, integrado por preguntas cerradas orientadas a identificar las principales problemáticas urbanas, los mecanismos utilizados para reportarlas y el nivel de aceptación de una aplicación móvil; así como una **guía de entrevista semiestructurada**, que permitió profundizar en las experiencias, necesidades y expectativas de los participantes respecto a la gestión de incidencias urbanas.

La información cuantitativa obtenida fue analizada mediante **estadística descriptiva**, utilizando frecuencias y porcentajes para interpretar las respuestas de los participantes. Por su parte, la información cualitativa derivada de las entrevistas fue organizada mediante categorías temáticas, lo que permitió identificar los principales requerimientos funcionales considerados en el diseño y desarrollo de **CityReportApp**.

Finalmente, el uso de Design Thinking permitió orientar el proyecto hacia una solución con enfoque social, en la que la tecnología no solo cumple una función técnica, sino que responde a una necesidad real de la comunidad. Gracias a este enfoque, se logró proponer una aplicación que busca mejorar la comunicación entre ciudadanos y autoridades, contribuyendo así a una gestión más eficiente de las incidencias urbanas.

La figura 1 muestra la planeación de actividades del proyecto

**Figura 1**  
Gráfica de Gantt

No.	Responsable	Actividades	Cronograma de Actividades	Objetivo	Fecha de Inicio	duración en día	Fecha a terminar.	Presupuesto	Total
<b>Fase 1</b>									
<b>Empatizar</b>									
1	Vianey Chavez	Diagnóstico de problemáticas urbanas		Identificar incidencias más frecuentes	13/01/2026	28	24/01/26		
2	Vianey Chavez	Aplicación de encuestas ciudadanas		Recopilar percepciones y necesidades	13/01/26	5	18/01/26	\$50.00	\$50.00
3	Vianey Chavez	Entrevistas a ciudadanos y autoridades		Conocer procesos y puntos críticos	15/01/26	10	25/01/26	\$50.00	\$50.00
4	Vianey Chavez	Humanización del problema (personas y mapas de empatía)		Comprender emociones y contexto del usuario	16/01/26	8	24/01/26	\$50.00	\$50.00
5							03/02/26		
6							03/02/26		
7							03/02/26		
<b>Fase 2</b>									
<b>Definir</b>									
8	Vianey Chavez	Análisis de información recopilada		Sintetizar datos relevantes	27/01/26	20	07/02/26		
9	Vianey Chavez	Análisis FODA del proyecto		Evaluar fortalezas y riesgos	28/01/26	5	02/02/26	\$50.00	\$50.00
10	Vianey Chavez	Definición del problema central		Definir el reto principal	01/02/26	4	05/02/26	\$50.00	\$50.00
11	Vianey Chavez	Identificación de usuarios y necesidades clave		Establecer el enfoque del proyecto	03/02/26	5	07/02/26	\$50.00	\$50.00
12									
13									
<b>Fase 3</b>									
<b>Idear</b>									
12	Vianey Chavez	Lluvia de ideas de soluciones		Generar alternativas	10/02/26	5	15/02/26	\$50.00	\$50.00
13	Vianey Chavez	Ideación de funcionalidades de la app		Proponer funciones clave	10/02/26	5	15/02/26	\$50.00	\$50.00
14	Vianey Chavez	Análisis LCA (viabilidad y costo de vida de la solución)		Evaluar impacto y sostenibilidad	13/02/26	5	18/02/26	\$50.00	\$50.00
15	Vianey Chavez	Selección de la solución final		Definir funcionalidades clave	15/02/26	5	20/02/26	\$50.00	\$50.00
16									
17									
18									
<b>Fase 4: Prototipar</b>									
<b>Prototipar</b>									
19	Vianey Chavez	Diseño de wireframes		Definir estructura visual	24/02/26	5	01/03/26	\$1,000.00	\$1,000.00
20	Vianey Chavez	Diseño de interfaz centrada en el usuario		Mejorar experiencia del usuario	27/02/26	5	04/03/26	\$1,000.00	\$1,000.00
21	Vianey Chavez	Desarrollo del prototipo funcional		Crear versión operativa	29/02/26	10	10/03/26	\$1,000.00	\$1,000.00
22	Vianey Chavez	Integración y validación de funcionalidades		Preparar app para pruebas	09/03/26	5	14/03/26	\$1,000.00	\$1,000.00
23									
<b>Fase 5: Testear</b>									
<b>Fase Testear</b>									
24	Vianey Chavez	Pruebas piloto con usuarios		Evaluar usabilidad	17/03/26	5	22/03/26	\$50.00	\$50.00
25	Vianey Chavez	Encuestas y entrevistas de retroalimentación		Medir satisfacción del usuario	19/03/26	5	24/03/26	\$50.00	\$50.00
26	Vianey Chavez	Ajustes y mejoras finales		Optimizar la solución	19/03/26	5	24/03/26	\$50.00	\$50.00
27	Vianey Chavez	Evaluación final y presentación del proyecto		Validar el cumplimiento de objetivos	23/03/26	5	27/03/26	\$50.00	\$50.00
28									
29									

Como primera actividad se realizó un diagnóstico de las principales problemáticas urbanas presentes en la comunidad. Esta etapa consistió en identificar de manera directa las incidencias más frecuentes, tales como baches, fallas en el alumbrado público y acumulación de residuos en la vía pública. El diagnóstico permitió visualizar el impacto que estas situaciones generan en la movilidad, la seguridad y la calidad de vida de los habitantes, así como reconocer la necesidad de mejorar los mecanismos de reporte y atención.

Durante este proceso se analizaron las condiciones actuales de comunicación entre ciudadanos y autoridades municipales, detectando que los medios tradicionales de reporte no permiten un seguimiento claro ni una respuesta oportuna. Este análisis inicial fue fundamental para comprender la magnitud del problema y establecer una base sólida para el desarrollo de CityReportApp, orientando el proyecto hacia una solución tecnológica que facilite la gestión eficiente de incidencias urbanas.

**Figura 2.**  
Situación actual



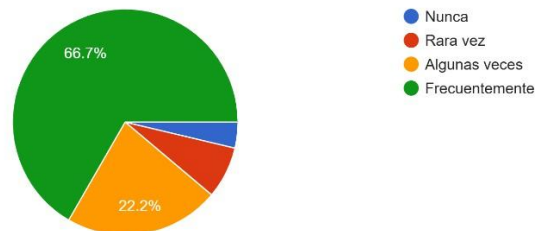
## 2. Aplicación de encuestas a ciudadanos

Posteriormente, se llevó a cabo la aplicación de encuestas a ciudadanos con el objetivo de recopilar información cuantitativa sobre la percepción social respecto a los servicios públicos y la atención de incidencias urbanas. Las encuestas permitieron identificar la frecuencia con la que los ciudadanos enfrentan este tipo de problemas, los medios que utilizan para reportarlos y el nivel de satisfacción respecto a la respuesta de las autoridades.

Los resultados evidenciaron que existe una percepción generalizada de falta de seguimiento y retroalimentación en los reportes realizados. Asimismo, se detectó que una gran parte de los ciudadanos estaría dispuesta a utilizar una aplicación móvil que facilite el proceso de reporte y permita conocer el estado de sus solicitudes en tiempo real. Esta información resultó clave para validar la viabilidad del proyecto y reforzar la necesidad de implementar una herramienta tecnológica accesible y eficiente.

**Figura 3.**  
*Encuesta*

1. ¿Con qué frecuencia observa problemas de infraestructura urbana en su colonia o ciudad?  
27 respuestas

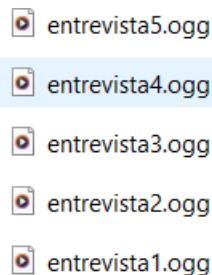


## 3. Entrevistas a ciudadanos

Como complemento a la información obtenida en las encuestas, se realizaron entrevistas a ciudadanos con la finalidad de profundizar en sus experiencias personales y conocer de manera más detallada sus puntos de vista. A través de esta técnica cualitativa se logró identificar emociones como frustración, desconfianza e inconformidad ante la falta de atención oportuna a los problemas urbanos.

Las entrevistas también permitieron comprender cómo estas incidencias afectan la vida diaria de las personas, desde dificultades para transitar por calles en mal estado hasta la sensación de inseguridad en zonas con deficiente iluminación. Esta etapa fortaleció el enfoque humano del proyecto, ya que no solo se analizaron datos estadísticos, sino también vivencias reales que justifican la implementación de una solución innovadora como CityReportApp.

**Figura 4.**  
*Entrevistas*



## 4. Humanización del problema

Finalmente, se realizó la humanización del problema mediante la construcción de perfiles de usuario y el análisis del contexto social en el que se desarrollan las incidencias urbanas. Esta actividad permitió visualizar al ciudadano no solo como un usuario potencial de la aplicación, sino como una persona que experimenta directamente las consecuencias de la falta de gestión eficiente en los servicios públicos.

A través de esta etapa se logró comprender las necesidades emocionales y funcionales del usuario, como la necesidad de sentirse escuchado, recibir retroalimentación y participar activamente en la mejora de su comunidad. La humanización del problema permitió enfocar el desarrollo de CityReportApp en la creación de una experiencia intuitiva, accesible y transparente, alineada con los principios de las ciudades inteligentes y la participación ciudadana.

**Figura 5.**  
*Humanización del problema*



## Fase 2 Definir

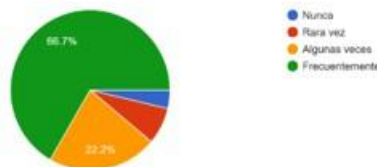
### 1. Análisis de información recopilada

En esta etapa se realizó un análisis detallado de la información obtenida a través de encuestas y observación del entorno urbano. Más allá de solo revisar números, se buscó comprender lo que realmente sienten y viven las personas en su día a día. Los resultados mostraron que muchos ciudadanos perciben que los problemas de infraestructura, como baches, luminarias dañadas o acumulación de basura, tardan demasiado en atenderse, lo que genera frustración y desconfianza hacia los mecanismos tradicionales de reporte.

Al analizar las respuestas, se identificaron patrones claros: la mayoría de los participantes considera que no existe un medio ágil, accesible y transparente para reportar incidencias. Esto permitió entender que el problema no solo es físico (la falla en la ciudad), sino también comunicativo y organizacional. Esta comprensión fue clave para avanzar hacia una solución que realmente responda a las necesidades reales de la comunidad y no solo a suposiciones.

**Figura 6.**  
*Preguntas de encuesta*

1. ¿Con qué frecuencia observa problemas de infraestructura urbana en su colonia o ciudad?  
27 respuestas

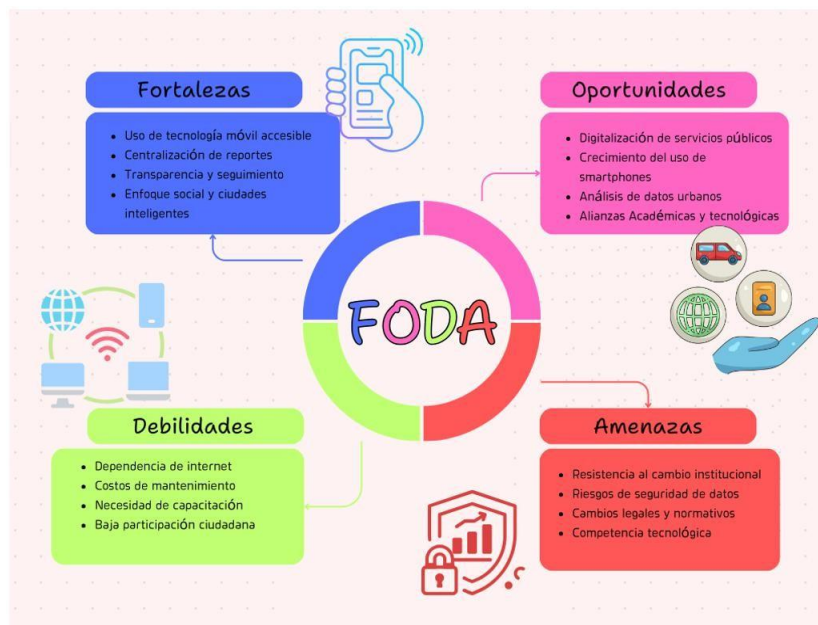


### 2. Análisis FODA del proyecto

El análisis FODA permitió evaluar el proyecto desde una perspectiva estratégica, considerando tanto factores internos como externos. Dentro de las fortalezas se identificó el uso de tecnología móvil como una herramienta accesible y moderna, así como el enfoque social del proyecto. En cuanto a oportunidades, se observó el creciente uso de smartphones y el interés ciudadano por participar en la mejora de su comunidad.

Por otro lado, también se detectaron debilidades y amenazas que deben considerarse, como la posible resistencia al cambio por parte de algunas autoridades o la falta de cultura digital en ciertos sectores de la población. Este análisis fue importante porque permitió visualizar riesgos potenciales y preparar estrategias para enfrentarlos. De esta manera, el proyecto no solo se plantea como una idea innovadora, sino como una propuesta consciente de su contexto.

**Figura 7.**  
*Análisis FODA*

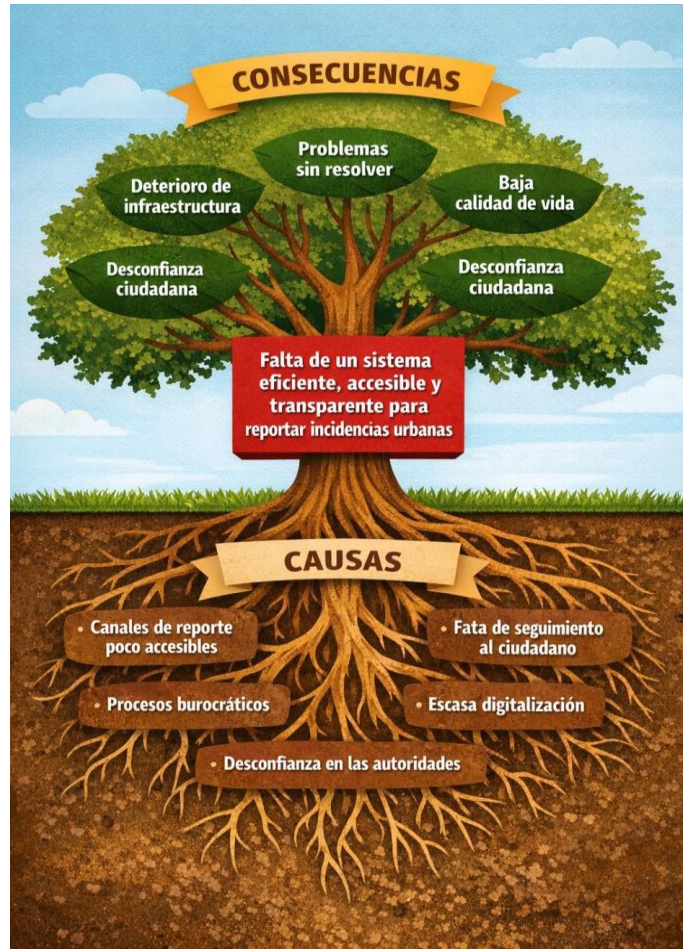


### 3. Definición del problema central

Después de analizar la información y reflexionar sobre el contexto, se definió el problema central del proyecto: la falta de un sistema eficiente, accesible y transparente para reportar incidencias urbanas. Esta problemática afecta directamente la calidad de vida de los ciudadanos, ya que muchas situaciones cotidianas permanecen sin resolverse durante largos periodos.

La definición del problema permitió enfocar el proyecto hacia una solución concreta y viable. En lugar de abordar todos los problemas urbanos al mismo tiempo, se decidió centrar la propuesta en mejorar el proceso de reporte y seguimiento de incidencias. Esta claridad ayudó a delimitar el alcance del proyecto y a establecer una base sólida para las siguientes fases del Design Thinking.

**Figura 8.**  
*Análisis del problema*



#### 4. Identificación de usuarios y necesidades clave

Después de analizar la información y reflexionar sobre el contexto, se definió el problema central del proyecto: la falta de un sistema eficiente, accesible y transparente para reportar incidencias urbanas. Esta problemática afecta directamente la calidad de vida de los ciudadanos, ya que muchas situaciones cotidianas permanecen sin resolverse durante largos periodos.

La definición del problema permitió enfocar el proyecto hacia una solución concreta y viable. En lugar de abordar todos los problemas urbanos al mismo tiempo, se decidió centrar la propuesta en mejorar el proceso de reporte y seguimiento de incidencias. Esta claridad ayudó a delimitar el alcance del proyecto y a establecer una base sólida para las siguientes fases del Design Thinking.

**Figura 9.**  
*Identificación de usuarios y necesidades clave*



### Fase 3 Idear

#### 1. Lluvia de ideas de soluciones

En esta etapa me permití pensar sin límites al inicio. La idea fue generar la mayor cantidad posible de soluciones sin preocuparme todavía por si eran muy ambiciosas o difíciles de implementar. Consideré opciones como una línea telefónica mejorada, una página web municipal más interactiva, un sistema de mensajes automatizados e incluso la posibilidad de integrar redes sociales para reportar incidencias.

Después de anotar todas las ideas, comencé a analizarlas con mayor objetividad. Me di cuenta de que muchas podían funcionar, pero no todas resolvían el problema de fondo, que es la falta de seguimiento y transparencia. Este ejercicio fue importante porque permitió abrir la mente antes de cerrar la decisión en una sola alternativa. Me ayudó a comparar y elegir con mayor criterio.

**Figura 10.**  
*Lluvia de ideas*

<b>LLUVIA DE IDEAS DE SOLUCIONES</b>				
<b>NO</b>	<b>IDEA PROPUESTA</b>	<b>DESCRIPCIÓN BREVE</b>	<b>VENTAJA PRINCIPAL</b>	<b>LIMITACIÓN DETECTADA</b>
<b>1</b>	LÍNEA TELEFÓNICA MEJORADA	CREAR UN NÚMERO ÚNICO MUNICIPAL PARA REPORTES	ACCESIBLE PARA PERSONAS SIN INTERNET	NO PERMITE EVIDENCIA VISUAL
<b>2</b>	PÁGINA WEB INTERACTIVA	PORTAL DONDE SE PUEDAN REGISTRAR INCIDENCIAS	CENTRALIZA INFORMACIÓN	NO TODOS USAN COMPUTADORA
<b>3</b>	INTEGRACIÓN CON REDES SOCIALES	REPORTES MEDIANTE MENSAJES O HASHTAGS	FÁCIL DIFUSIÓN	DIFÍCIL CONTROL Y SEGUIMIENTO
<b>4</b>	BUZONES DIGITALES EN ESPACIOS PÚBLICOS	MÓDULOS ELECTRÓNICOS EN PUNTOS ESTRATÉGICOS	INCLUYE A PERSONAS SIN SMARTPHONE	COSTO DE INSTALACIÓN ALTA
<b>5</b>	APLICACIÓN MÓVIL DE REPORTES	APP PARA REGISTRAR INCIDENCIAS CON FOTO Y UBICACIÓN	ACCESO RÁPIDO Y SEGUIMIENTO EN TIEMPO REAL	REQUIERE DESARROLLO Y MANTENIMIENTO
<b>6</b>	PLATAFORMA INTERNA MUNICIPAL OPTIMIZADA	MEJORAR SISTEMA INTERNO DE GESTIÓN	AGILIZA PROCESOS ADMINISTRATIVOS	NO MEJORA EXPERIENCIA CIUDADANA
<b>7</b>	CHATBOT DE ATENCIÓN CIUDADANA	ASISTENTE VIRTUAL PARA RECIBIR REPORTES	RESPUESTA INMEDIATA	PUEDA SER LIMITADO EN CASOS COMPLEJOS

2. Ideación de funcionalidades de la app

Una vez que la solución comenzó a tomar forma como aplicación móvil, fue necesario pensar qué funciones debería incluir para realmente resolver el problema. No se trataba solo de permitir reportar incidencias, sino de mejorar la experiencia del usuario. Por eso se consideraron funciones como adjuntar fotografías, ubicación automática, notificaciones de seguimiento y un historial de reportes. Pensar en las funcionalidades me hizo ponerme en el lugar del usuario. Me pregunté qué esperaría una persona después de hacer un reporte y qué le daría confianza para seguir usando la herramienta. Esto permitió que la propuesta no fuera solo técnica, sino centrada en la experiencia y necesidades reales del ciudadano.

**Figura 11.**  
*Ideación de funcionalidades*



### 3. Análisis LCA (viabilidad y ciclo de vida de la solución)

En esta actividad analicé la viabilidad del proyecto considerando su ciclo de vida. Reflexioné sobre los recursos necesarios para desarrollarlo, implementarlo y mantenerlo en funcionamiento. También pensé en aspectos como costos de desarrollo, mantenimiento del servidor y actualizaciones futuras. Este análisis permitió evaluar si la propuesta es sostenible a mediano y largo plazo.

Además, consideré cómo evolucionaría la aplicación con el tiempo. Por ejemplo, podría iniciar con funciones básicas y posteriormente integrar mejoras conforme aumente su uso. Este análisis fue importante porque permitió confirmar que la solución no solo es útil, sino también viable dentro del contexto tecnológico y organizacional actual.

**Tabla 1.**  
*Análisis LCA*

Rubro	Impacto identificado	Etapa del ciclo de vida	Nivel	Evidencia	Propuesta de mejora
<b>Energía</b>	Consumo en servidores	Operación	Medio	Uso de nube	<b>Energía renovable</b>
<b>Energía</b>	Uso de smartphones	Uso	Bajo	App activa	<b>Optimización</b>
<b>Energía</b>	Desarrollo de software	Desarrollo	Bajo	Equipos de cómputo	<b>Eficiencia</b>
<b>Materiales</b>	Extracción de minerales	Fabricación	Medio	Smartphones	<b>Vida útil mayor</b>
<b>Materiales</b>	Infraestructura tecnológica	Operación	Medio	Centros de datos	<b>Virtualización</b>
<b>Materiales</b>	Reducción de papel	Uso	Alto (+)	Reportes digitales	<b>Digitalización</b>
<b>Residuos</b>	Residuos electrónicos	Fin de vida	Medio	Renovación	<b>Reciclaje</b>
<b>Residuos</b>	Menos residuos físicos	Uso	Alto (+)	Trámites digitales	<b>Cero papel</b>
<b>Residuos</b>	Datos acumulados	Operación	Bajo	Almacenamiento	<b>Depuración</b>
<b>Emisiones</b>	Emisiones indirectas	Operación	Medio	Consumo eléctrico	<b>Energía limpia</b>
<b>Emisiones</b>	Menos traslados	Uso	Alto (+)	Reportes remotos	<b>Uso continuo</b>
<b>Emisiones</b>	Optimización urbana	Operación	Medio (+)	Análisis de datos	<b>Planeación</b>

Rubro	Impacto identificado	Etapa del ciclo de vida	Nivel	Evidencia	Propuesta de mejora
Tecnología	Dependencia digital	Operación	Medio	Infraestructura	Respaldo
Tecnología	Gestión inteligente	Uso	Alto (+)	TIC urbanas	Escalabilidad
Tecnología	Prevención de incidencias	Operación	Alto (+)	Big Data	Mantenimiento

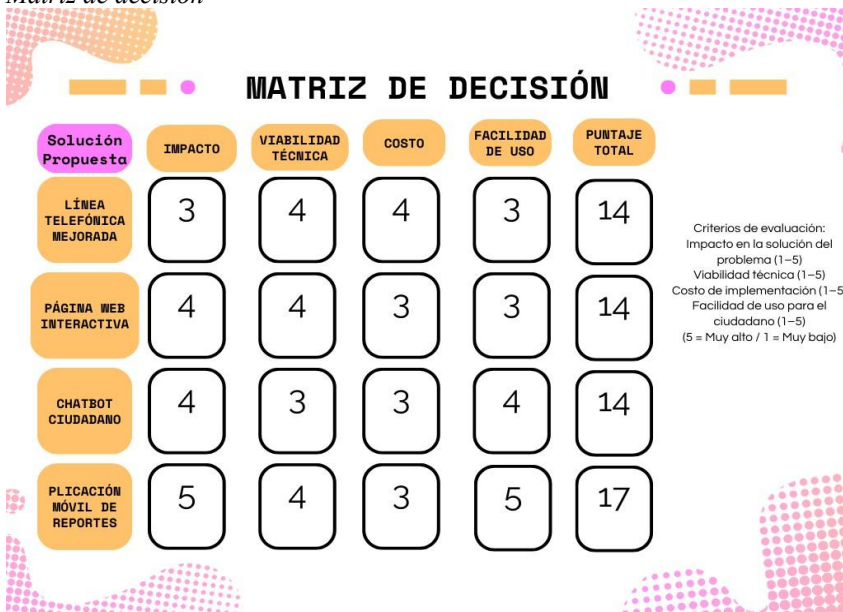
#### 4. Selección de la solución final

Después de evaluar las distintas alternativas y analizar la viabilidad, se decidió que la mejor opción es el desarrollo de una aplicación móvil para el reporte y seguimiento de incidencias urbanas. Esta decisión se tomó considerando que es una solución accesible, moderna y alineada con el uso actual de la tecnología por parte de la ciudadanía.

La selección final no fue impulsiva, sino resultado del análisis previo. Se valoró que esta opción responde directamente al problema central identificado en fases anteriores. Además, permite integrar mejoras progresivas y adaptarse a futuras necesidades. Con esta decisión, el proyecto queda definido con una dirección clara para pasar a la etapa de prototipado.

**Figura 12.**

*Matriz de decisión*



#### Fase 4 Prototipar

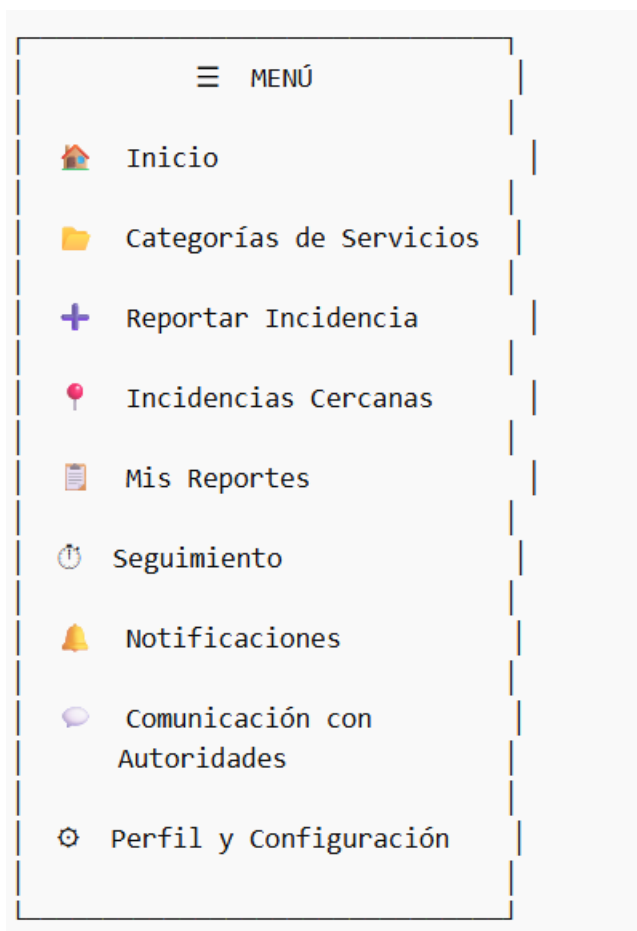
##### 1. Diseño de wireframes

En esta etapa se comenzaron a plasmar de manera visual las ideas que se habían generado en las fases anteriores. Para ello se diseñaron wireframes o bocetos de las pantallas principales de la aplicación. Estos esquemas permitieron visualizar de forma sencilla cómo se organizaría la información dentro de la app, sin enfocarse todavía en detalles gráficos como colores o tipografías.

Realizar los wireframes ayudó a entender mejor la estructura de la aplicación y la forma en que el usuario interactuaría con cada pantalla. A través de estos bocetos se pudieron identificar elementos importantes como el inicio de sesión, la sección para reportar incidencias y

el mapa con incidencias cercanas. Este paso fue importante porque permitió detectar posibles mejoras antes de pasar al desarrollo del prototipo.

**Figura 13.**  
*Prototipado*



## 2. Diseño de interfaz centrada en el usuario

Una vez definidos los wireframes, el siguiente paso fue pensar en cómo hacer que la interfaz fuera clara y fácil de utilizar. Para ello se consideraron principios de diseño centrado en el usuario, como la simplicidad, la claridad en los botones y la facilidad para completar acciones importantes como enviar un reporte. La idea fue que cualquier persona pudiera utilizar la aplicación sin necesidad de conocimientos técnicos.

Durante este proceso se reflexionó sobre la experiencia del usuario al utilizar la aplicación. Por ejemplo, se buscó que los botones principales fueran visibles, que la navegación fuera intuitiva y que las opciones más importantes estuvieran al alcance del usuario. Esto permitió diseñar una interfaz pensada para facilitar la participación ciudadana y hacer el proceso de reporte lo más sencillo posible.

**Figura 14.**  
*Diseño de interfaz*



### 3. Desarrollo del prototipo funcional

En esta actividad se construyó un prototipo funcional que simula el funcionamiento de la aplicación. El objetivo no era crear aún una aplicación completamente terminada, sino una versión inicial que permitiera visualizar cómo se comportaría el sistema. Este prototipo incluyó las funciones básicas como iniciar sesión, registrar una incidencia y visualizar reportes cercanos en un mapa.

Desarrollar el prototipo permitió conectar las ideas con algo más tangible. Al probarlo fue posible entender mejor el flujo de navegación entre pantallas y cómo se relacionan las diferentes funcionalidades. Este paso fue clave porque permitió transformar la idea del proyecto en una representación más cercana a una aplicación real.

**Figura 15.**  
*Diseño del prototipo funcional*

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<Shell
  x:Class="Menuappcity.AppShell"
  xmlns="http://schemas.microsoft.com/dotnet/2021/maui"
  xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2009/xaml"
  xmlns:local="clr-namespace:Menuappcity"
  xmlns:vistas="clr-namespace:Menuappcity.Vistas"
  Title="City Report">
  <!-- HOME -->
  <ShellContent
    Title="Inicio"
    Icon="logo.gif"
    ContentTemplate="{DataTemplate local:MainPage}"
    Route="MainPage" />
  <!-- CATEGORÍAS -->
  <FlyoutItem Title="Categorías de Servicios" Icon="categorias.png">
    <ShellContent ContentTemplate="{DataTemplate vistas:CategoriasServicios}" />
  </FlyoutItem>
  <!-- REPORTAR INCIDENCIA -->
  <FlyoutItem Title="Reportar Incidencia" Icon="incidencia.png">
    <ShellContent ContentTemplate="{DataTemplate vistas:ReportarIncidencia}" />
  </FlyoutItem>
  <!-- INCIDENCIAS CERCANAS -->
  <FlyoutItem Title="Incidencias Cercanas" Icon="mapa.png">
    <ShellContent ContentTemplate="{DataTemplate vistas:IncidenciasCercanas}" />
  </FlyoutItem>
</Shell>
```



#### 4. Identificación de usuarios y necesidades clave

Finalmente se revisó que todas las funcionalidades principales del prototipo funcionaran de manera coherente entre sí. Se verificó que el usuario pudiera navegar correctamente entre las pantallas, registrar un reporte y visualizar incidencias cercanas sin dificultades. Este proceso permitió identificar pequeños ajustes que mejoran la experiencia general de la aplicación.

La validación también ayudó a confirmar que la solución propuesta responde al problema identificado en las fases anteriores. Al observar el funcionamiento del prototipo, se pudo comprobar que la aplicación facilita el proceso de reporte y hace más clara la comunicación entre ciudadanos y autoridades. Esto demuestra que la propuesta tiene potencial para convertirse en una herramienta útil para la gestión de incidencias urbanas.

**Tabla 2.**  
Identificación de usuarios y necesidades clave

No.	Funcionalidad Probada	Descripción de la Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Estado
1	Inicio de sesión	El usuario ingresa su correo y contraseña para acceder a la aplicación	El sistema permite el acceso al menú principal	El usuario accede correctamente al menú	 Correcto
2	Navegación del menú	El usuario abre el menú lateral y selecciona diferentes opciones	Las secciones se abren correctamente	Las opciones del menú funcionan correctamente	 Correcto
3	Reportar incidencia	El usuario llena el formulario para reportar un problema	El sistema registra el reporte correctamente	El reporte se guarda en la sección de reportes	 Correcto
4	Adjuntar imagen al reporte	El usuario agrega una fotografía del problema	La imagen se adjunta al reporte	La imagen se guarda junto con el reporte	 Correcto
5	Ubicación de incidencia	El sistema detecta o permite ingresar la ubicación del problema	La incidencia se registra con ubicación	La ubicación aparece en el reporte	 Correcto
6	Visualizar incidencias cercanas	El usuario abre el mapa para ver incidencias cercanas	El mapa muestra reportes cercanos	Las incidencias se muestran correctamente	 Correcto

No.	Funcionalidad Probada	Descripción de la Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Estado
7	Consulta de mis reportes	El usuario revisa el historial de reportes enviados	El sistema muestra los reportes registrados	Los reportes aparecen en la lista	 Correcto
8	Notificaciones	El sistema envía notificación de actualización del reporte	El usuario recibe notificación	La notificación aparece en la app	 Correcto

#### Fase 5 Testear

##### 1. Pruebas piloto con usuarios

En esta etapa se realizaron pruebas piloto con algunos usuarios para observar cómo interactúan con el prototipo de la aplicación. El objetivo fue identificar si la navegación es clara, si las funciones principales son fáciles de utilizar y si el proceso de reportar incidencias resulta comprensible para los usuarios. Estas pruebas permitieron ver la aplicación desde la perspectiva real de quienes la utilizarían en un entorno cotidiano.

Durante las pruebas, los usuarios exploraron diferentes secciones de la aplicación como el menú principal, el registro de incidencias y la visualización de reportes cercanos. Este proceso ayudó a detectar pequeños detalles que pueden mejorar la experiencia del usuario, como la ubicación de algunos botones o la claridad de ciertos textos. Las pruebas piloto fueron importantes porque permitieron validar el funcionamiento del prototipo antes de considerarlo como una solución final.

**Tabla 3.**  
*Testeo*

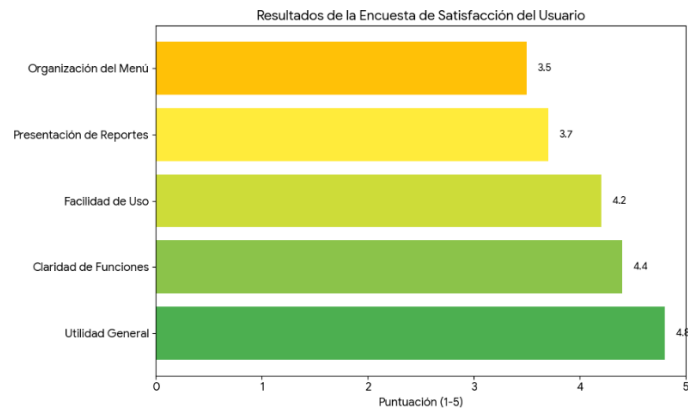
No.	Nombre del Usuario	Edad	Ocupación	Actividad Realizada
1	Ana Martínez	21	Estudiante	Probó el registro de incidencias
2	Carlos Hernández	27	Empleado	Navegación del menú y visualización de reportes
3	Mariana López	45	Ama de casa	Prueba de mapa de incidencias cercanas
4	Diego Ramírez	19	Estudiante	Registro de reporte con descripción
5	Fernanda Torres	36	Empleado	Prueba del sistema de notificaciones
6	Luis Gómez	25	Empleado	Consulta de reportes registrados
7	Valeria Cruz	22	Estudiante	Navegación general de la aplicación

## 2. Encuestas y entrevistas de retroalimentación

Después de que los usuarios probaron el prototipo, se aplicaron encuestas y se realizaron pequeñas entrevistas para conocer su opinión sobre la aplicación. La intención fue recopilar comentarios sobre la facilidad de uso, la claridad de las funciones y la utilidad general de la herramienta para reportar incidencias urbanas. Escuchar la opinión de los usuarios permitió obtener información valiosa que no siempre se detecta durante el desarrollo.

Las respuestas obtenidas mostraron que los usuarios consideran útil contar con una aplicación que facilite el reporte de problemas en la ciudad. Sin embargo, también propusieron algunas sugerencias de mejora relacionadas con la organización del menú y la forma en que se presentan los reportes, así como el login de la aplicación. Esta retroalimentación fue muy útil para comprender mejor las necesidades del usuario y ajustar algunos aspectos del prototipo.

**Figura 16.**  
*Encuestas*

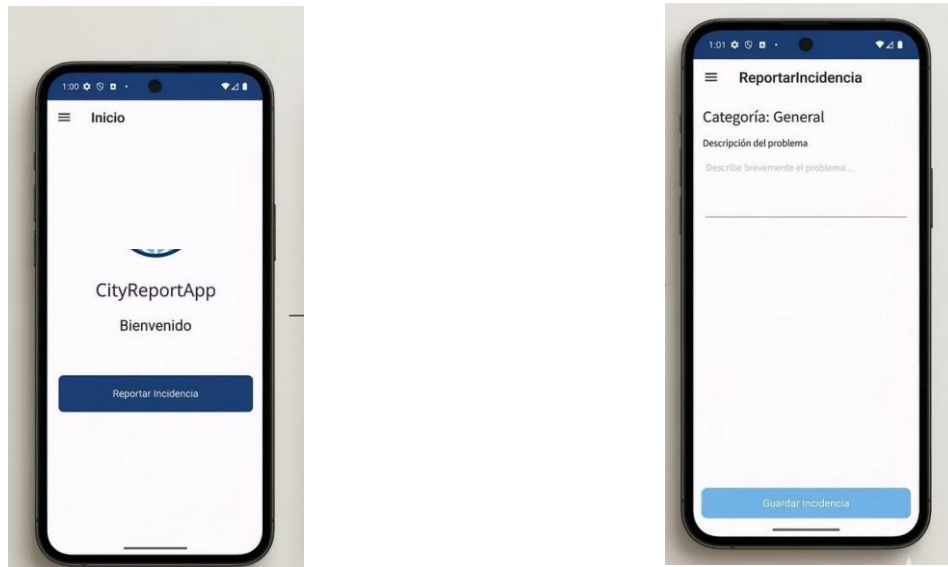


## 3. Ajustes y mejoras finales

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas y en la retroalimentación de los usuarios, se realizaron algunos ajustes en el prototipo para mejorar su funcionamiento. Estas mejoras estuvieron enfocadas principalmente en optimizar la navegación dentro de la aplicación y hacer más claras algunas funciones para el usuario.

El objetivo de estos cambios fue hacer que la aplicación fuera más intuitiva y fácil de utilizar. Aunque el prototipo ya cumplía con sus funciones principales, estos pequeños ajustes ayudaron a mejorar la experiencia general del usuario. Esta etapa demuestra la importancia de evaluar y mejorar constantemente una solución antes de considerarla definitiva.

**Figura 17.**  
*Ajustes y mejoras finales*

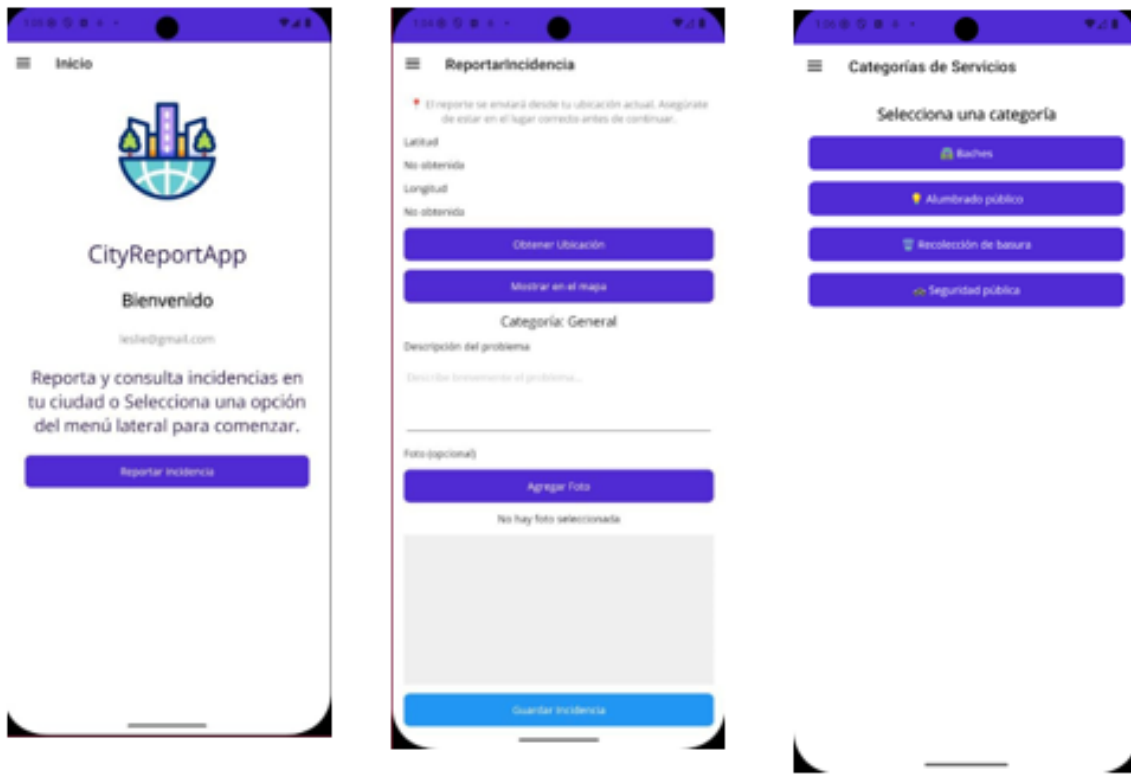


#### 4. Evaluación final y presentación del proyecto

Finalmente se realizó una evaluación general del proyecto para analizar si la solución propuesta cumple con el objetivo planteado desde el inicio. En esta etapa se revisó todo el proceso desarrollado, desde la identificación del problema hasta la creación del prototipo y las pruebas realizadas con usuarios.

La evaluación permitió concluir que el desarrollo de una aplicación móvil para reportar incidencias urbanas puede ser una herramienta útil para mejorar la comunicación entre ciudadanos y autoridades. Además, el proyecto demuestra cómo el uso de la tecnología puede contribuir a facilitar la participación ciudadana y mejorar la gestión de problemas urbanos.

**Figura 18.**  
*Evaluación final*



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del proyecto cityreportapp se obtuvieron resultados que permiten validar la viabilidad de la propuesta como una herramienta útil para la gestión de incidencias urbanas. A partir de las actividades realizadas en la etapa de empatía, como encuestas y entrevistas, se identificó que la mayoría de los ciudadanos ha experimentado problemas relacionados con infraestructura urbana y considera que estos no son atendidos de manera oportuna. Esto confirmó la existencia de una necesidad real dentro de la comunidad.

En cuanto a la participación ciudadana, los resultados mostraron una alta disposición por parte de los usuarios para utilizar una aplicación móvil que facilite el reporte de incidencias. De manera general, se observó que más del 70% de los encuestados estaría dispuesto a utilizar una herramienta digital si esta fuera fácil de usar y ofreciera seguimiento a sus reportes. Este dato respalda el enfoque del proyecto y su objetivo de mejorar la comunicación entre ciudadanos y autoridades.

Asimismo, se identificó que uno de los principales problemas en los métodos actuales de reporte es la falta de seguimiento. Muchos usuarios señalaron que, al realizar reportes por medios tradicionales, no reciben respuesta o desconocen el estado de su solicitud. En este sentido, la propuesta de integrar notificaciones y seguimiento en tiempo real dentro de la aplicación representa un valor agregado importante, ya que responde directamente a esta necesidad detectada.

Desde una perspectiva funcional, el diseño de la aplicación se orientó a ser intuitivo y accesible, lo que fue validado mediante pruebas básicas con usuarios. Estos señalaron que la posibilidad de incluir fotografías, ubicación y descripciones facilita la claridad del reporte y mejora la experiencia de uso. Esto permite suponer que la aplicación podría reducir errores en la identificación de incidencias y agilizar su atención.

En general, los resultados obtenidos permiten afirmar que el proyecto tiene un impacto positivo potencial, tanto en la mejora de la comunicación como en la eficiencia de la gestión urbana. Sin embargo, también se reconoce que su implementación dependerá de la integración con sistemas institucionales y del compromiso de las autoridades para dar seguimiento a los reportes. Aun así, la propuesta representa un avance significativo hacia el uso de la tecnología para la solución de problemáticas sociales.

## CONCLUSIÓN

El desarrollo de cityreportapp permitió identificar la importancia de integrar la tecnología en la solución de problemáticas urbanas que afectan directamente a la sociedad. A lo largo del proyecto, se evidenció que los ciudadanos enfrentan diversas dificultades relacionadas con la infraestructura pública, así como limitaciones en los canales de comunicación con las autoridades, lo que impacta negativamente en su calidad de vida.

Uno de los aspectos más relevantes fue comprender que la participación ciudadana juega un papel fundamental en la mejora del entorno urbano. Al brindar una herramienta accesible y fácil de usar, se fomenta que los ciudadanos se involucren activamente en el reporte de incidencias, generando un sentido de responsabilidad compartida en el cuidado de la comunidad.

Desde el enfoque de responsabilidad social, este proyecto demuestra que el uso de aplicaciones móviles puede contribuir a generar cambios positivos en la sociedad. No se trata únicamente de desarrollar tecnología, sino de crear soluciones que respondan a necesidades reales y que tengan un impacto directo en el bienestar colectivo.

Asimismo, se concluye que la implementación de sistemas que promuevan la transparencia, como el seguimiento de reportes en tiempo real, puede fortalecer la confianza entre ciudadanos y autoridades. Este aspecto es clave para mejorar la percepción de los servicios públicos y fomentar una relación más cercana y efectiva entre ambas partes.

Finalmente, cityreportapp representa una propuesta que, aunque puede seguir mejorándose, sienta las bases para el desarrollo de soluciones tecnológicas con enfoque social. Su contribución radica en demostrar que la innovación puede ser utilizada como una herramienta para mejorar la calidad de vida, promover la participación ciudadana y avanzar hacia la construcción de ciudades más organizadas, seguras y sostenibles.

## BIBLIOGRAFÍA

- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. Harper Business.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities—Indicators for smart cities*. <https://www.iso.org>
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times* (pp. 282–291). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
- Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.
- ONU-Hábitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*. <https://unhabitat.org>
- Rogers, Y., Sharp, H., & Preece, J. (2011). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction* (3rd ed.). Wiley.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Anthopoulos, L. (2017). *Smart Cities: A Real-Time Evaluation Framework*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57015-0>
- Mora, L., Deakin, M., & Reid, A. (2019). Strategic principles for smart city development: A multiple case study analysis of European best practices. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 70–97. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.035>
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Foth, M., Sabatini-Marques, J., da Costa, E., & Ioppolo, G. (2019). Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 45, 348–365. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.033>
- Almeida, V., Doneda, D., & Ichihara, M. Y. (2020). Digital governance and public services in smart cities: Challenges and opportunities. *Government Information Quarterly*, 37(4), 101548. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101548>
- Criado, J. I., & Gil-García, J. R. (2019). Creating public value through smart technologies and strategies: From digital services to smart governance. *International Journal of Public Sector Management*, 32(5), 438–450. <https://doi.org/10.1108/IJPSM-07-2018-0172>

# INTELLIGENT IMAGE ANALYSIS FOR QUALITY CONTROL IN WELDS

Eng. Josué Antonio Pérez Huerta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Technological Institute of Higher Studies of the Carboniferous Region, Master's Program in Industrial Engineering*

E-mail: [241DM009@rcarbonifera.tecnm.mx](mailto:241DM009@rcarbonifera.tecnm.mx)

**Research line:** Innovation / Industrial Engineering

## ABSTRACT

This study presents the design and development of an intelligent visual analysis system aimed at the objective evaluation of weld beads through digital image processing techniques. The primary objective of the research is to identify, classify, and quantify surface defects in industrial welds in order to support decision-making within quality control processes.

The proposed methodology follows a technological–applied approach, integrating digital image acquisition, preprocessing through grayscale conversion, edge and contour detection, and the computation of quantitative metrics associated with defect area, frequency, and severity. The results enable the formulation of a global severity index that classifies weld bead quality into acceptance, conditional, or rejection categories, thereby reducing the subjectivity inherent in traditional visual inspection methods.

Furthermore, the system automatically generates technical reports that include graphical outputs, quantitative metrics, and operational recommendations aimed at continuous improvement of the welding process. It is concluded that intelligent visual analysis supported by artificial intelligence represents a reliable, reproducible, and efficient alternative for strengthening quality assurance processes in the metalworking industry.

## KEYWORDS

*image processing, quality control, visual analysis, weld defects, welding*

## RESUMEN

Este estudio presenta el diseño y desarrollo de un sistema inteligente de análisis visual orientado a la evaluación objetiva de cordones de soldadura mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes. El objetivo principal de la investigación es identificar, clasificar y cuantificar los defectos superficiales en soldaduras industriales para apoyar la toma de decisiones dentro de los procesos de control de calidad.

La metodología propuesta sigue un enfoque tecnológico-aplicado, integrando la adquisición de imágenes digitales, el preprocesamiento mediante la conversión a escala de grises, la detección de bordes y contornos, y el cálculo de métricas cuantitativas asociadas con el área, frecuencia y severidad del defecto. Los resultados permiten la formulación de un índice de severidad global que clasifica la calidad del cordón de soldadura en categorías de aceptación, condicional o rechazo, reduciendo así la subjetividad inherente a los métodos tradicionales de inspección visual.

Además, el sistema genera automáticamente informes técnicos que incluyen salidas gráficas, métricas cuantitativas y recomendaciones operativas orientadas a la mejora continua del proceso de soldadura. Se concluye que el análisis visual inteligente apoyado por inteligencia artificial representa una alternativa confiable, reproducible y eficiente para fortalecer los procesos de aseguramiento de calidad en la industria metalmeccánica.

**PALABRAS CLAVE** *análisis visual, control de calidad, defectos de soldadura, procesamiento de imágenes, soldadura*

## *INTRODUCTION*

Quality inspection of welded joints constitutes a critical aspect of the metalworking industry, as the mechanical strength, safety, and durability of components directly depend on the proper execution of each weld bead. Numerous studies have reported that the presence of surface defects—such as cracks, porosity, inclusions, or lack of fusion—can significantly compromise structural integrity, leading to premature failures and increased operational risks in industrial applications (Morales Barón, 2023).

Traditionally, visual inspection has been the most widely adopted method for assessing weld quality. However, this approach is highly dependent on the inspector's experience, judgment, and perceptual capabilities, which introduces considerable levels of subjectivity and variability in the obtained results. In this regard, Ramírez (2024) emphasizes that manual defect evaluation in welding processes, even within automated manufacturing environments, continues to exhibit inconsistencies that negatively affect the reliability of quality control systems.

In response to these limitations, technologies based on computer vision, digital image processing, and artificial intelligence have gained increasing attention as viable alternatives for standardizing and automating inspection procedures. Recent investigations have demonstrated that image-based analysis enables the identification of defect-related patterns and the generation of objective quantitative metrics, thereby enhancing technical decision-making within quality assurance frameworks (Molina, 2024).

Similarly, Hernández, García, and González (2025) report that optical inspection applied to welded joints, supported by visual analysis models and physical principles of light reflection, improves the detection of surface irregularities while reducing dependence on human judgment. These technological advancements not only increase inspection accuracy but also enhance traceability and repeatability in evaluation processes.

Within this context, the present work proposes the development of an intelligent visual analysis system that integrates digital image processing techniques with severity metrics to objectively, rapidly, and reproducibly evaluate weld bead quality, contributing to the reinforcement of quality control processes in the metalworking industry.

## *DEVELOPMENT*

### *GENERAL AND SPECIFIC OBJECTIVES*

#### **General objective:**

To develop an intelligent system capable of analyzing welding images through digital processing techniques in order to identify defects, classify weld bead quality, and generate an automated technical report.

#### **Specific objectives:**

- To implement an automated system for loading and processing digital welding images.
- To detect and classify surface defects using edge and contour detection techniques.
- To compute quantitative metrics related to defect area, severity, and a global defect index.
- To generate automated technical reports incorporating graphical results and operational recommendations.

## *OBJECT OF STUDY*

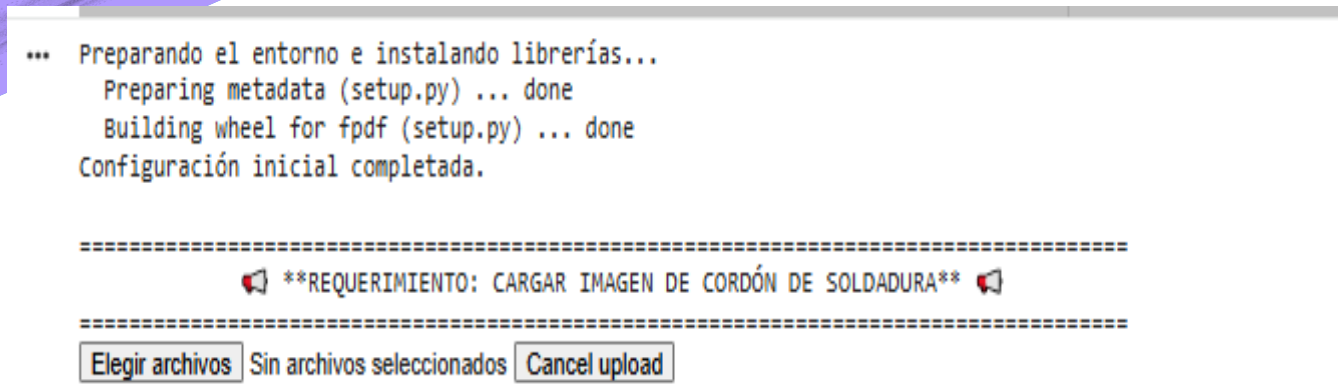
The object of study of this research is the automated visual analysis of weld beads based on digital images, with the purpose of identifying and quantifying surface defects that directly influence welding process quality.

## *METHODOLOGY*

The technical development of this work began with the systematic capture of weld bead images. To prevent variations that could affect the analysis, rigid controls were established for lighting, camera distance, and image resolution; this allowed us to ensure that the visual data was uniform and that external factors did not bias the final results. All this photographic material was organized into a digital database, ready for processing.

For a detailed analysis of the images, we opted to develop our own algorithm in Python, using the Google Colab environment. We chose this platform because it offers the computing power needed to manage large volumes of data efficiently, while also facilitating the integration of computer vision libraries that are key to accurately detecting and measuring welding defects.

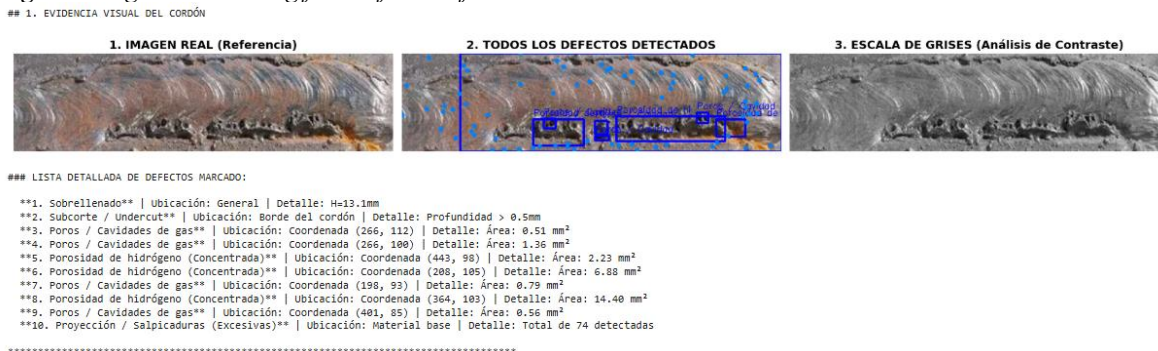
**Figure 1** System Interface for Welding Image Upload



**Note.** The command console and user interface are shown, where the execution environment is prepared and the digital file of the weld bead is loaded for subsequent analysis. **Source:** Author's own work.

Subsequently, image preprocessing was performed using specialized computer vision tools and libraries. During this phase, the images were converted to grayscale, simplifying chromatic information and facilitating the detection of intensity variations associated with surface irregularities in the weld bead. In addition, filtering techniques were applied to reduce noise and enhance edges, improving the quality of visually relevant information for analysis.

**Figure 2** Digital Processing for Surface Defect Detection



**Note.** The analysis sequence is presented, including the reference image, defect segmentation through contour detection, and grayscale conversion for contrast analysis. **Source:** Author's own work.

Next, contour detection algorithms were implemented, enabling the identification and segmentation of regions of interest corresponding to potential surface defects in the weld bead. This stage allowed for the precise delineation of porosity, discontinuities, and geometric irregularities, distinguishing them from acceptable weld bead regions.

**Figure 3 Results Interface with Severity and Location Metrics**

```

### LISTA DETALLADA DE DEFECTOS MARCADO:

**1. Sobrellenado** | Ubicación: General | Detalle: H=13.1mm
**2. Subcorte / Undercut** | Ubicación: Borde del cordón | Detalle: Profundidad > 0.5mm
**3. Poros / Cavidades de gas** | Ubicación: Coordenada (266, 112) | Detalle: Área: 0.51 mm2
**4. Poros / Cavidades de gas** | Ubicación: Coordenada (266, 100) | Detalle: Área: 1.36 mm2
**5. Porosidad de hidrógeno (Concentrada)** | Ubicación: Coordenada (443, 98) | Detalle: Área: 2.23 mm2
**6. Porosidad de hidrógeno (Concentrada)** | Ubicación: Coordenada (208, 105) | Detalle: Área: 6.88 mm2
**7. Poros / Cavidades de gas** | Ubicación: Coordenada (198, 93) | Detalle: Área: 0.79 mm2
**8. Porosidad de hidrógeno (Concentrada)** | Ubicación: Coordenada (364, 103) | Detalle: Área: 14.40 mm2
**9. Poros / Cavidades de gas** | Ubicación: Coordenada (401, 85) | Detalle: Área: 0.56 mm2
**10. Proyección / Salpicaduras (Excesivas)** | Ubicación: Material base | Detalle: Total de 74 detectadas

*****

## 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PERFIL DE RIESGO

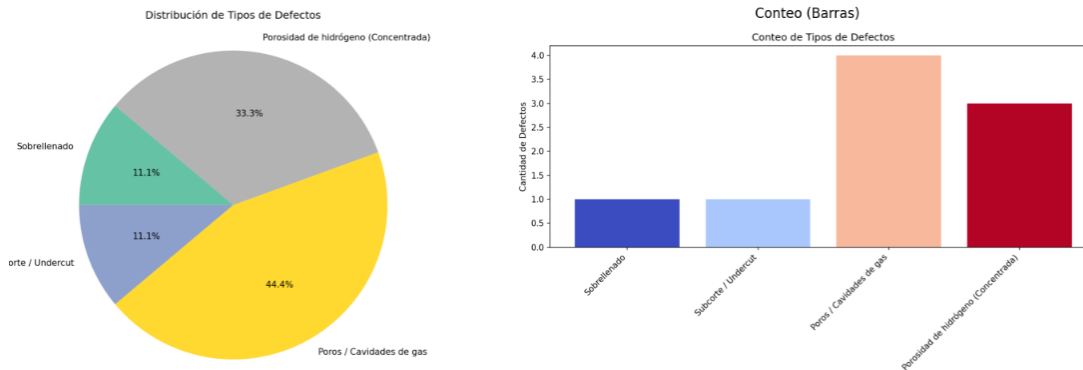
### 2.1 Resumen Cuantitativo
- **Cuento Total de Defectos (Excl. Salpicaduras):** 9
- **Defecto Más Frecuente:** Poros / Cavidades de gas (4 ocurrencias)

### 2.2 Comportamiento por Riesgo
- **Riesgo Estructural (Grietas/Porosidad/Fusión):**
  -> **ALERTA ROJA:** Alta incidencia de fallas internas (0 estructurales, 7 por porosidad). Requerimiento de remoción.
- **Riesgo Geométrico (Undercut/Perfil):**
  -> **ALERTA NARANJA:** 1 fallas de perfil detectadas. Indicativo de inconsistencia en el control de la antorcha o velocidad.
    
```

**Note.** The system individually identifies each defect, assigning an area in mm<sup>2</sup> and a severity category for final diagnosis. **Source:** Author's own work.

Once the defects were identified, a quantitative geometric analysis was conducted by evaluating parameters such as area, shape, and spatial distribution. These parameters provided objective information regarding the magnitude and severity of each detected defect, enabling a systematic and reproducible assessment of weld surface quality.

**Figure 4 Characterization and Quantitative Analysis of Welding Discontinuities**



**Note.** Graphical and statistical representation translating visual findings into area metrics and severity levels, enabling objective interpretation of process quality through result digitization. **Source:** Author's own work.

Based on the geometric analysis results, a total severity index was developed, integrating the quantitative characteristics of the defects detected in each image. This index allowed the classification of weld bead quality into different acceptance levels, providing a technical criterion for assessing welding process conformity.

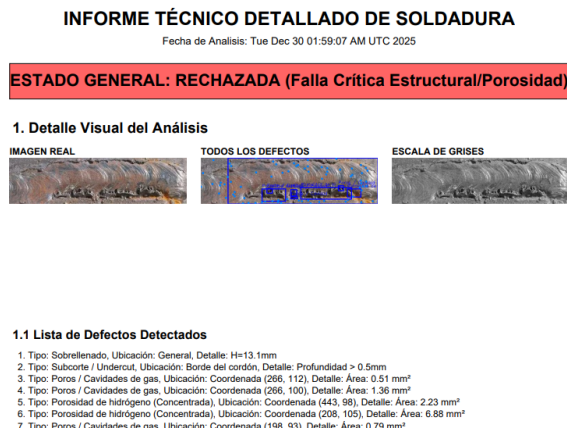
**Figure 5 Acceptance Criteria Matrix and Technical Welding Recommendations**

## 3. PARÁMETROS Y RECOMENDACIONES DE ACCIÓN		
### 3.1 Parámetros de Referencia		
PARAMETRO	VALOR	
Proceso	MIG/MAG (GMAW)	
Corriente (A)	180	
Voltaje (V)	24.5	
Geometría Estimada	Filete (Fillet)	
Especificación Altura Máx (mm)	10.0	
Especificación Altura Mín (mm)	3.0	
### 3.2 Acciones Correctivas (Priorizadas)		
PRIORIDAD	DEFECTO ASOCIADO	RECOMENDACION Y ACCION CORRECTIVA
INMEDIATA	Poros / Cavidades de gas	RECHAZO POR POROSIDAD. Verificar gas, limpiar junta, y hornear alambre.
ALTA	Subcorte / Undercut	Rellenar el surco (undercut) y ajustar la velocidad de avance o el voltaje.
MEJOR	Sobrellenado	Pulir o desbastar el exceso de material para cumplir con la especificación de altura.
MEJOR	Proyección / Salpicaduras (Excesivas)	Mejorar la preparación de la superficie antes de soldar y ajustar el gas/voltaje para reducir salpicaduras.

**Note.** Comparative table linking the detected severity index with suggested corrective actions, providing a reference framework for approval or rejection of inspected components. **Source:** Author's own work.

Finally, the obtained results were integrated into an automated technical report, presenting in a structured manner the weld bead quality classification and the information derived from image processing and analysis. This report serves as a support tool for inspection and quality control processes by offering an objective, consistent, and reproducible alternative to traditional visual evaluation methods.

**Figure 6 Final Technical Documentation and Inspection Verdict in Portable Format**



**Note.** Example of the exported final report, where author data, inspection date, defect metrics, and quality verdict are structured and consolidated, ready for archiving or submission to production stakeholders. **Source:** Author's own work.

### Phases of Development of the Visual Analysis System

Following the establishment of the methodology, the development of the system is structured into the following phases, which enable the transition from data acquisition to the issuance of a reliable technical diagnosis:

#### 1. Data Acquisition and Control

Systematic image acquisition of weld beads is performed under controlled conditions of lighting, resolution, and distance in order to ensure uniform visual information and minimize analysis bias. Subsequently, the photographic material is organized into a digital database for processing within the development environment (Python/Google Colab).

#### 2. Digital Image Preprocessing

The acquired images are converted to grayscale to simplify chromatic information and highlight intensity variations associated with surface irregularities. In addition, filtering and enhancement techniques are applied to reduce visual noise and improve the definition of weld bead edges.

#### 3. Segmentation and Defect Detection

Through contour detection algorithms, the system accurately delineates areas exhibiting porosity, cracks, or discontinuities. Each identified defect is individually marked and labeled, with spatial coordinates assigned for subsequent analysis.

#### 4. Quantitative Analysis and Metric Extraction

An automatic geometric evaluation of each discontinuity is performed, calculating parameters such as area, shape, and spatial distribution. Additionally, statistical analysis is generated to identify the frequency and predominant type of defect within the analyzed sample.

## 5. Quality Classification and Diagnosis

Based on the extracted metrics, a severity index is calculated, integrating the magnitude of the detected defects. Using this index, the weld is technically classified into three categories: Acceptance, Conditional Acceptance, or Rejection.

## 6. Technical Documentation Generation

Finally, the system consolidates the results into an automated technical report that includes visual evidence, quantitative metrics, and the inspection verdict. Additionally, operational recommendations aimed at correcting the detected defects and promoting continuous improvement of the welding process are incorporated.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results demonstrate that the intelligent visual analysis system consistently identifies relevant surface defects in weld beads, including porosity, cracks, inclusions, and lack of fusion. Quantification of the affected area and assignment of severity levels enable the generation of objective metrics that facilitate comparison across different weld beads and operating conditions. The global severity index provides a reproducible technical criterion for weld quality classification, significantly reducing variability associated with human judgment.

From a discussion perspective, these findings are consistent with previous studies that confirm the feasibility of digital image processing for welding inspection. Analysis automation reduces inspection time and enhances the traceability of quality control processes. Nevertheless, opportunities remain for integrating more advanced machine learning techniques to improve defect classification accuracy and extend the system's capabilities toward internal defect detection through combination with other non-destructive testing methods.

## CONCLUSION

The development of the intelligent visual analysis system demonstrates that weld bead quality can be objectively evaluated through digital image processing techniques. Analysis automation and automated technical report generation contribute to inspection standardization, reduction of human error, and optimization of evaluation time. The proposed system represents a viable and efficient tool for quality control in welding processes, with strong potential for application in both industrial and educational contexts.

## BIBLIOGRAPHY

1. **Hernández, R. S.; García, J. S.; González, A. V. (2025).** *Inspección óptica sobre uniones de soldadura, un estudio de la aplicación de la física de la reflexión de un modelo RGB.* *Informática e Abstracta*, 2(2), 75-84.
2. **Molina, L. A. D. (2024).** *Evaluación del proceso de soldadura por resistencia por medio de imágenes termográficas y no termográficas.*
3. **Morales Barón, C. C. (2023).** *Propuesta para la inspección y detección de defectos del proceso de soldadura de arco eléctrico para la fabricación de estructuras metálicas.*
4. **Ramírez, A. A. (2024).** *Clasificación de errores en rebabas de soldadura por punto de una celda de manufactura robotizada aplicando inteligencia artificial.*

# FASES EN EL DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN

A. Alejandro Hernandez Briones<sup>1</sup>, B. Raymundo Diaz Robles<sup>2</sup>, C. Reimundo Moreno Cepeda<sup>3</sup>  
D. Adela Bustillo Garfias<sup>4</sup>, E. Oscar López Lara<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Valle de México, e-mail: [alejandros\\_hernandezbr@my.uvm.edu.mx](mailto:alejandros_hernandezbr@my.uvm.edu.mx)

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, e-mail: [raymundo.diaz@tec.mx](mailto:raymundo.diaz@tec.mx)

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Coahuila: [reimundo.moreno@uadec.edu.mx](mailto:reimundo.moreno@uadec.edu.mx)

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, e-mail: [adelabustillo@uadec.edu.mx](mailto:adelabustillo@uadec.edu.mx)

<sup>5</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, e-mail: [oslopezl@uadec.edu.mx](mailto:oslopezl@uadec.edu.mx)

## Línea de investigación: OTRAS INGENIERÍAS

### Resumen

Un proyectista o diseñador de moldes de inyección parte de la idea fundamental de la pieza a fabricar: "La definición de la parte y sus características dependerán, en su mayor parte, del diseño y realización adecuada del molde". Cuando el fabricante de moldes recibe una solicitud para la fabricación de un molde, recibe una serie de datos necesarios e importantes (de cara al desarrollo del proyecto) que le vienen impuestos por su cliente. Estos son: el material por inyectar, la Geometría de la pieza (en 2D y 3D), el número de figuras en el molde, y el listado de máquinas disponibles para usar ese molde

Algunos clientes facilitan los estudios previos (como análisis reológicos) de llenado de la pieza, que ayudan a determinar la factibilidad del producto y para la toma de decisiones en el sistema de colada y el número de figuras óptimo para el diseño del molde. Antes de iniciar el proyecto de diseño y fabricación del molde, es muy importante analizar los datos dados por el cliente, así como solicitar aquellos que pudieran faltar, ya que son muy importantes para el desarrollo del anteproyecto.

En la fabricación de un molde, se evalúa la configuración para que, una vez moldeada, esta pueda ser extraída del molde, y que sus dimensiones son las adecuadas para que el material pueda penetrar en todos los puntos de la cavidad. En el estudio previo para la factibilidad de fabricación se consideran tres aspectos: a) *Estudio de las Tolerancias y Cotas Críticas del Plano 2D*, b) *Estudio de la Geometría 3D*, así como c) *Evaluación de Cargas*.

El presente artículo trata de la evaluación de requerimientos a considerar cuando se evalúa un molde en la industria de la inyección de plásticos.

*Palabras clave: Cavidad, Inyección, Molde, Parte*

### Abstract

A designer of injection moulds starts from the fundamental idea of the part to be manufactured: "The definition of the part and its characteristics will depend, for the most part, on the design and proper realization of the mould". When the mould manufacturer receives a request for the manufacture of a mould, he receives a series of necessary and important data (for the development of the project) that are imposed on him by his client. These are: the material to be injected, the geometry of the part (in 2D and 3D), the number of shapes in the mold, and the list of machines available to use that mold

Some customers facilitate pre-studies (such as rheological analysis) of filling the part, which help determine the feasibility of the product and for decision-making in the casting system and the optimal number of figures for the mold design. Before starting the design and manufacture project of the mold, it is very important to analyze the data given by the client, as well as request those that may be missing, as they are very important for the development of the preliminary project.

In the manufacture of a mould, the configuration is evaluated so that, once moulded, it can be removed from the mould, and that its dimensions are adequate so that the material can penetrate all points of the cavity. In the preliminary study for the feasibility of manufacturing, three aspects are considered: a) *Study of the Tolerances and Critical Dimensions of the 2D Plan*, b) *Study of the 3D Geometry*, as well as c) *Evaluation of Loads*.

This article deals with the evaluation of requirements to be considered when evaluating a mold in the plastics injection industry.

*Keywords: Cavity, Injection, Mold, Part*

## INTRODUCCIÓN

La industria del plástico cuenta con poco más de 100 años hoy en día, los primeros 50 años correspondieron a la investigación y la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes 20 años en la difusión de información y aprovechamiento de ellos y los últimos 30 años en optimizar el uso de estos. Hoy en día, la fabricación de moldes de inyección requiere de analizar y considerar las necesidades de fabricación de la pieza o parte a trabajar, el proyecto de fabricación de moldes considera el diseño, validación y fabricación el mismo considerando varios puntos (GASTROW, 1993):

- El tipo de colada y su separación,
- El tipo de expulsión de las piezas inyectadas,
- La existencia o no de contrasalidas exteriores en la pieza a inyectar,
- El tipo de desmoldeo.

En la práctica, al tratar un nuevo problema o proyecto, el proyectista de moldes puede ver cómo se ha construido o se ha de construir un molde en casos similares. Sin embargo, siempre se debe intentar mejorar y optimizar el diseño, y no limitarse a copiar lo visto. Podrá encontrar una división de los moldes en la norma ISO 16750 Moldes de inyección para materiales plásticos, se refiere a la clasificación y estructura de moldes de inyección para materiales plásticos, la cual establece una división estandarizada de los tipos de moldes, facilitando el diseño y la fabricación de piezas de plástico. Esta clasificación tiene en cuenta, principalmente, la forma de desmoldeo de la pieza (ISO, 2023):

- Molde estándar de una cavidad (molde de dos placas),
- Molde estándar multicavidad (molde de dos placas),
- Molde de mordazas (molde de correderas),
- Molde de extracción por segmentos,
- Molde de tres placas,
- Moldes para roscas,
- Molde de pisos (molde tipo sándwich),
- Molde de canal caliente.

### Antecedentes

La fabricación del diseño de moldes de inyección requiere tener conocimientos del seguimiento a proyectos, así como la Ingeniería de Diseño mecánico. En este último el conocimiento técnico y tecnológicos son necesarios para diseñar un producto desde el punto de vista funcional, estructural, y estético considerando el uso adecuado de recursos. La gestión de proyectos se puede definir como “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto con el fin de satisfacer y superar sus objetivos.” El entorno de las empresas evoluciona cada vez con más rapidez; reduciéndose la vida útil de los productos, lo que obliga a las empresas a elaborar con mayor frecuencia proyectos orientados al desarrollo de moldes eficientes y partes con mejores prestaciones, desempeño y durabilidad.

Para evitar desvíos en los proyectos, es importante considerar plazos, presupuestos y la naturaleza de las piezas a fabricar; esto permitirá obtener productos finales de mayor calidad y en el plazo establecido. Esto mejora el desempeño de la empresa y minimiza los riesgos.

### Prologo

Un proyecto nace de las necesidades del cliente que se traducirán en los objetivos técnicos del proyecto, para alcanzarlos en el plazo estipulado serán necesarios tanto recursos humanos, técnicos y económicos. El director de proyecto se encargará de planificar, gestionar y supervisar esos recursos para garantizar la buena marcha del proyecto, a la vez que informa de la misma al cliente.

En el desarrollo de un proyecto intervienen tres facetas que interactúan entre sí a lo largo del mismo.

Estas facetas son:

- a) Faceta Técnica,
- b) Faceta de Gestión, y
- c) Faceta Humana

En la fabricación de un molde, se evalúa la configuración para que, una vez moldeada, esta pueda ser extraída del molde, y que sus dimensiones son las adecuada para que el material pueda penetrar en todos los puntos de la cavidad. En el estudio previo para la factibilidad de fabricación se consideran tres aspectos:

- a. *Estudio de las Tolerancias y Cotas Críticas del Plano 2D,*
- b. *Estudio de la Geometría 3D, y*
- c. *Evaluación de Cargas.*

### Breve reseña histórica

La palabra plástico procede del término griego plastikos, que significa «capaz de ser moldeado». El término expresa la principal propiedad de este material: su capacidad para deformarse y, por tanto, su facilidad para adoptar prácticamente cualquier forma. La industria del plástico es una industria joven que en el año 2026 cumplió poco más de 120 años.

La investigación de estos materiales se inicia sobre el año 1830, cuando la investigación pura conduce a muchos científicos a la síntesis de materias primas, que después serán aprovechadas en la elaboración de diferentes plásticos. A diferencia de materiales existentes en la naturaleza como, la madera y la piel de animales, que han sido utilizadas desde el origen de la humanidad; vidrio y metal que registran su uso en las primeras civilizaciones como Babilonia y Egipto; el plástico, es el primer material sintético, creado por el hombre (WALKER, 2023).

Antes de la aparición del primer plástico sintético, el hombre ya utilizaba algunas resinas naturales, como el betún, goma, laca y ámbar, con los que podían fabricar productos útiles y lograr aplicaciones diversas.

El Plástico está presente en todas las facetas de la humanidad. El Plástico es indisoluble del estilo de vida moderno, y éste extraordinario material consiguió, a lo largo de los últimos 150 años, cambiar radicalmente a la sociedad en que vivimos, contribuyendo al aumento del nivel de vida y del bienestar general. Hoy en día áreas como la industria automotriz, la aeronáutica y el campo de la medicina no contarían con el desarrollo con el que cuentan sin los plásticos. (Observe la Figura 1).

### Figura 1

Productos derivados del plástico.



Teléfono en Baquelita (Siglo XX), Envase de PET, Montura en Nylon y lentes en policarbonato.

## DESARROLLO

La idea fundamental con la que debe partir un proyectista de moldes podría ser: “La perfección y características de una pieza dependerán, en su mayor parte, del diseño y realización adecuada del molde”. Cuando un taller de moldes recibe un encargo para fabricar un molde, generalmente, recibe una serie de datos necesarios e importantes (de cara al desarrollo del proyecto) que le vienen impuestos por su cliente. Entre dichos datos se cuenta el material a inyectar, la geometría de la parte, el número de figuras por molde, así como equipos donde se montará el molde.

Al diseñar un molde, se toman en consideración una serie de elementos que podría considerar como básicos, y que pueden dar una idea general de cómo es y se estructura un molde. Los elementos más comunes son:

1. Placa Base Fija/Base Superior:
2. Placas Porta-Figuras/Bloque Porta-Figura
3. Aro Centrador/Anillo de Centraje
4. Boquilla de Inyección:
5. Placa Soporte Lado Móvil/Sufridera Lado Móvil
6. Placa Porta expulsores
7. Placa Expulsora/Placa Tapa-Expulsores/Contraplaca Expulsora
8. Placa Base Móvil/Base Inferior
9. Paralelas de Expulsión/Regles de Expulsión
10. Improntas/Pastillas

Es necesario examinar, a su vez, si la configuración de la pieza permite que, una vez moldeada, pueda ser extraída del molde, y que sus dimensiones son las adecuadas para que el material pueda penetrar en todos los puntos de la cavidad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Conocer las etapas en el desarrollo de un proyecto orientado al diseño, evaluación y fabricación de un molde para la inyección de plásticos al conocer las características de la pieza a trabajar.

### **Objetivos específicos**

1. Conocer acerca del desarrollo de proyectos,
2. Identificar cuáles son los componentes que conforman un molde,
3. Conocer las etapas de fabricación, así como las herramientas y equipo técnico para su fabricación.

## **OBJETO DE ESTUDIO**

Planeación y ejecución de un proyecto para la fabricación de un molde de inyección de plásticos, considerando los conocimientos técnicos y tecnológicos necesarios para diseñar un producto desde el punto de vista funcional, estructural, y estético con los menores recursos posibles.

## **METODOLOGÍA**

La investigación usada es **aplicada** y **descriptiva**, planteando resolver problemas reales relacionados con la evaluación y diseño de moldes de inyección en la industria del plástico; así mismo, analiza los requerimientos técnicos necesarios para la evaluación de moldes, tanto de factibilidad y el desempeño del diseño del molde antes de su fabricación.

### **Enfoque de la Investigación**

Se propone un enfoque mixto:

- Enfoque cualitativo. Se considera analizar criterios técnicos del diseño, interpretar geometrías, así como evaluar condiciones de fabricación y su desempeño.
- Enfoque cuantitativo. Se evalúan las tolerancias dimensionales, analizando cargas mecánicas, validación de parámetros de llenado, así como el número óptimo de cavidades.

El diseño corresponde a un estudio transversal, porque el análisis se realiza en una etapa específica del desarrollo del molde, así mismo documental y técnico: basado en planos, modelos CAD 3D, fichas técnicas y análisis de los materiales.

### **Técnicas de Recolección de Datos**

En el Análisis documental se lleva a cabo la revisión de Planos 2D, modelos CAD 3D, hojas técnicas de materiales, y reportes de simulación de cargas en los materiales.

### **De los Instrumentos de Investigación**

Se habrá de utilizar Software CAD/CAE, Checklists de evaluación técnica, Planos dimensionales, Reportes de simulación, así como las Hojas de especificaciones del material.

**Hipótesis.** El desarrollo del proyecto parte de la premisa de conocer las características de la parte a fabricar, evaluando tolerancias, Geometría 3D, los materiales utilizados, así como las cargas aplicadas al molde para la inyección y el botado de la parte.

## FASES DEL DESARROLLO

### Marco Teórico.

En el desarrollo de un proyecto se genera mucha información que es necesario gestionar: Ofertas, Pedido, Cuaderno de Cargas, Pliego de condiciones, AMEF, Planos de pieza, Planos de fabricación, Lista de materiales, esquemas, Archivos 3D, Programas de trabajo, Análisis CAM, Análisis CAE, así como los métodos de fabricación y el equipamiento requerido. La figura 2 muestra el Esquema de construcción metódica de un molde.

En la práctica, al tratar un nuevo problema o proyecto, el proyectista de moldes puede ver cómo se ha construido o se ha de construir un molde en casos similares. Sin embargo, siempre se debe intentar mejorar y optimizar el diseño, y no limitarse a copiar lo visto. Observe la Figura 2 para el proceso de fabricación de moldes.

## ETAPAS DE LA EVALUACION

### 1. Planificación del Diseño

Consideraciones

- Recursos humanos simultáneos. Grupos de trabajo
- Previsión de material, tratamiento, comerciales.
- Lanzamiento de documentación secuencial.
- Simultaneidad Diseño/Fabricación
- Actualización de diseño Fabricación-Montaje-PAP
- Realización de seguimiento - Actualización (semanal)

### 2. Ingeniería concurrente

"Filosofía de trabajo basada en sistemas de información y fundamentada en la idea de convergencia, simultaneidad o concurrencia de la información contenida en todo el ciclo de vida de un producto sobre el diseño de este", (WALKER, 2023).

En esta disciplina todas las áreas involucradas trabajan de forma simultánea y en todas las etapas del proyecto. Se evalúan las herramientas informáticas disponibles: PLM, PDM, CAD, CAM, CAE y CNC. (Figura 3).

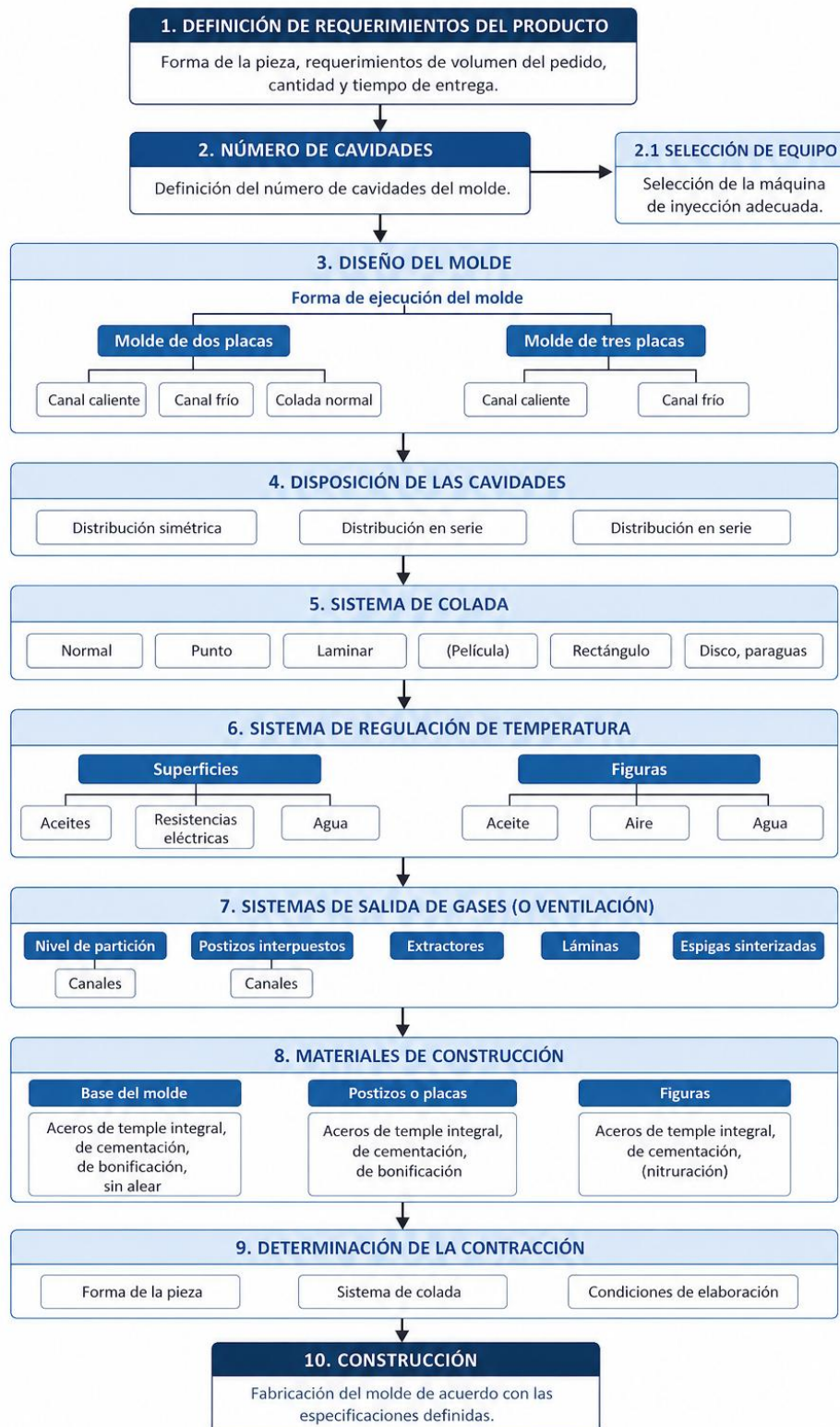
### 3. PDM - Gestión de datos de producto

Permite manejar la enorme cantidad de información que genera una compañía en torno a un producto:

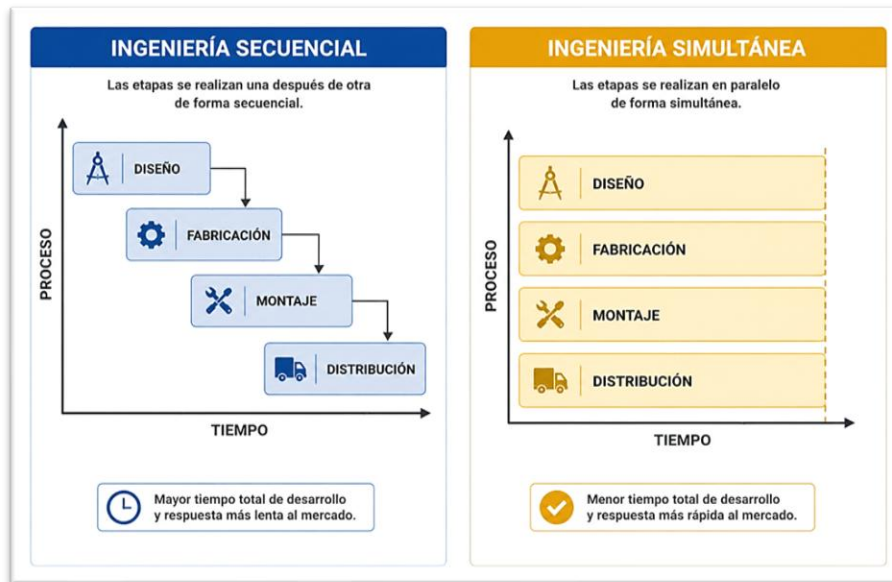
- ✓ Geometría
- ✓ Planos
- ✓ Ficheros sobre piezas
- ✓ Esquemas de montaje
- ✓ Especificaciones
- ✓ Diagrama de flujo de procesos
- ✓ Programas de CN
- ✓ Resultados de análisis
- ✓ Correspondencia
- ✓ Listas de material
- La información se mantiene siempre actualizada y se sabe qué modificaciones se han realizado y por parte de quién.
- Realización de búsquedas.
- Facilita la colaboración entre los distintos departamentos

**Figura 2**

Esquema para la construcción metódica y planificada de moldes de inyección de plástico.



**Figura 3.** La ingeniería simultánea (ingeniería concurrente) mejora los tiempos de respuesta (HERNANDEZ, 2023).



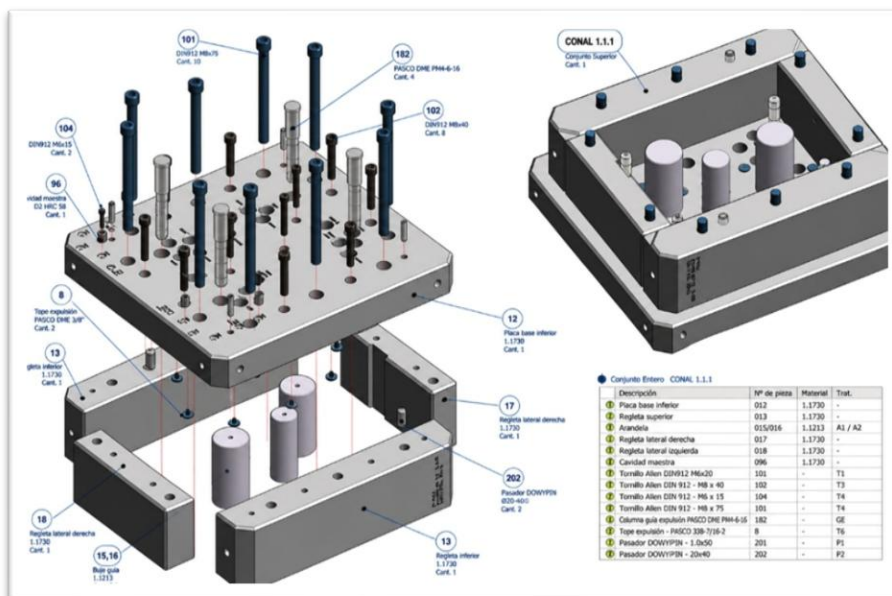
**4. Herramientas CAD (Diseño Asistido por Computadora)**

Software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en 2 y 3D, y manipular de una manera fácil elementos geométricos

**5. Herramientas CAM (Fabricación Asistida por Computadora)**

Permiten fabricar las piezas en máquinas de Control Numérico por Ordenador, calculando las trayectorias de la herramienta para conseguir el mecanizado correcto.

**Figura 4.** Desglose de componentes mecánicos en el molde (HERNANDEZ, 2023).



## 6. Herramientas CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)

Suponen un paso más en los sistemas CAD tradicionales, ya que además del diseño del modelo, también permiten integrar sus propiedades, condiciones a las que está sometido (temperatura, vibraciones, deformaciones, etc.), tipo de material, etc.

## 7. Diseño mecánico

Modelado basado en especificaciones técnicas para el diseño de piezas, ensamblajes y generación de planos integrados. Máquinas, Utillaje, Piezas mecánicas.

## 8. Estilizado y diseño de formas y estilo

Creación y modificación de superficies con diseño libre y diseño complejo (móvil, ratón, chasis). Al disponer de superficies paramétricas se pueden hacer modificaciones en los perfiles en cualquier momento, y estas modificaciones se propagan a todo el diseño.

### Figura 4.

Integración de las herramientas de trabajo a partir de un modelo generado en el software de **CATia v5.0** (HERNANDEZ, 2023).

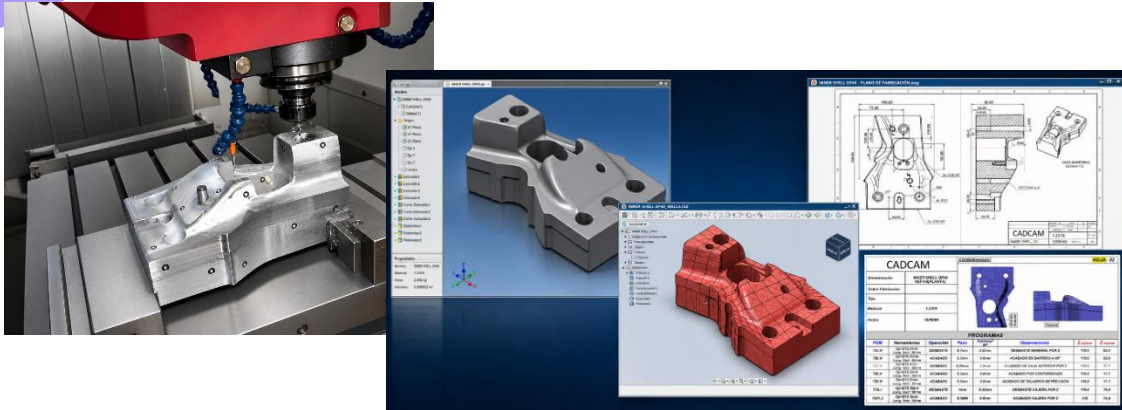


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ventajas de los plásticos son bien conocidas: son seguros, lo que los convierte en materiales adecuados para envases y embalajes de todo tipo; son ligeros, lo que permite ahorros sustanciales de energía en su producción y en el transporte de mercancías envasadas; son versátiles, es decir, hay un plástico para cada aplicación, desde la técnica aeroespacial más sofisticada, pasando por aplicaciones en automoción, industria eléctrica, electrónica, construcción y agricultura, hasta la medicina, el envasado y la industria del ocio; son resistentes y duraderos, lo que, lejos de ser un inconveniente, es una gran ventaja para perfiles, tuberías, parachoques o contenedores; finalmente, los plásticos son reciclables y pueden ser utilizados de nuevo mediante gran variedad de métodos (reciclado mecánico, químico o recuperación energética, entre otros). La fabricación de partes plásticas a su vez requiere de moldes de precisión y resistentes a los esfuerzos aplicados en un proceso de inyección, de ahí la importancia no solo de la evaluación de la parte, sino de la fabricación de componentes resistentes para los procesos de moldeo (HERNANDEZ, 2020).

**Figura 5.**

Ejemplo de modelado de parte en 3D y documentación 2D (HERNANDEZ, 2023).



## CONCLUSIÓN

Las conclusiones del presente estudio permiten establecer que el diseño y fabricación de moldes para inyección de plástico constituye un proceso integral que requiere una evaluación técnica detallada desde las primeras etapas del proyecto. La correcta definición de las características de la pieza, así como su adecuada orientación y posición dentro del molde, representan factores fundamentales para garantizar la factibilidad de fabricación, la calidad dimensional del producto final y la eficiencia del proceso de inyección.

De igual manera, el dimensionamiento adecuado del molde, la correcta concepción de improntas, sistemas de correderas, movimientos mecánicos y mecanismos de cierre, influyen directamente en el desempeño operativo del molde, la estabilidad del proceso y la vida útil del herramental. Una planeación deficiente en cualquiera de estos elementos puede generar problemas de llenado, deformaciones, dificultades de expulsión, desgaste prematuro o incrementos en los costos de producción y mantenimiento.

El estudio también permitió identificar que el análisis previo de la geometría de la pieza, las tolerancias críticas, las condiciones de carga y las características del material a inyectar son actividades indispensables para reducir riesgos durante la etapa de fabricación y puesta en marcha del molde. Asimismo, el uso de herramientas de simulación y validación técnica contribuye significativamente a optimizar la toma de decisiones durante el desarrollo del proyecto.

Como parte de la metodología de desarrollo de moldes, se concluye que es necesario considerar las siguientes etapas estratégicas:

1. **Gestión y seguimiento del proyecto**, contemplando el control de cambios, modificaciones, actualizaciones de diseño y validación continua de requerimientos durante toda la ejecución del proyecto.
2. **Seguimiento de fabricación y validación funcional del molde**, incluyendo inspecciones dimensionales, pruebas de inyección, ajustes de proceso y actividades de puesta a punto para asegurar el correcto desempeño operativo y la calidad de las piezas producidas.
3. **Mantenimiento y mejora continua**, enfocados en la conservación del molde, la optimización del proceso productivo y la retroalimentación técnica para el desarrollo y fabricación de futuros moldes con mayores niveles de eficiencia, confiabilidad y productividad.

Finalmente, se concluye que la evaluación técnica integral durante las etapas de diseño, fabricación y validación del molde permite minimizar fallas operativas, optimizar tiempos de producción y mejorar la competitividad de los procesos de manufactura en la industria de la inyección de plásticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIAG. (2023). *CQI-23: Evaluación del sistema de moldeo*. Automotive Industry Action Group.
- Dilan, H. (2019). *Moldeo universal: Método sistemático de optimización de moldeo por inyección*. Majosta.
- Gastrow, H. (1993). *Moldes de inyección para plásticos*. Hanser Editorial.
- Hernández, A. (2023). *Manual de SolidWorks*. Consultoría Global en Productividad.
- Hernández, A. (2025). *Programación CNC*. CAD/CAM Ingeniería.
- ISO 16750:2023. (2023). *Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment*. Deutsches Institut für Normung.
- Medrano Escobar, E. (2022). *El ABC de moldes, troqueles y dispositivos*. VOS Ediciones.
- Walker-Franklin, I. (2023). *Plásticos*. MIT Press.

# APLICACIÓN WEB PARA LA GESTIÓN DE PROCESOS EN TELEPEAJE

Joel Vega Rodríguez<sup>1</sup>, María del Consuelo Macias González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TecNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / [203101028@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:203101028@cuautitlan.tecnm.mx)

<sup>2</sup>TecNM / Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli / [maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx](mailto:maria.mg@cuautitlan.tecnm.mx)

## Línea de investigación: Tecnologías de la Información

### Resumen

El trabajo de investigación propone desarrollar una aplicación web con base de datos que ayude a automatizar el procesamiento de viajes en su totalidad, para un cobro correcto sin pérdidas de viajes no procesados y o carga de viajes extemporáneos, además de ayudar a los usuarios a gestionar sus actividades de manera más eficiente, con el objetivo de mejorar la eficacia de la empresa en su proceso de transformación digital para mantener la competitividad en un entorno empresarial en constante evolución.

Se aborda la dificultad que enfrentan los usuarios en la gestión de actividades manuales y repetitivas, sugiriendo que la automatización de procesos puede conducir a mejoras significativas.

El enfoque del desarrollo se centra en el área de Operaciones, área vital para el funcionamiento de la empresa, donde se busca evitar interrupciones y errores manuales en los procesos y a su vez tener un control de los procesos. Al automatizar tareas, se asegura la continuidad operativa sin necesidad de personal constante. Finalmente, se plantea un análisis de diferentes soluciones para optimizar la gestión de actividades, estableciendo un entorno centralizado y controlado para mejorar la eficiencia operativa.

*Palabras clave:* aplicación web, automatización, base de datos, control de los procesos, operaciones

### Abstract

The research work proposes to develop a web application with a database that helps automate the processing of trips in their entirety, for correct collection without losses of unprocessed trips and or charging of untimely trips, in addition to helping users to manage their activities more efficiently, with the aim of improving the effectiveness of the company in its digital transformation process to maintain competitiveness in a constantly evolving business environment.

The difficulty that users face in managing manual and repetitive activities is addressed, suggesting that process automation can lead to significant improvements.

The development approach focuses on the Operations area, a vital area for the operation of the company, where it seeks to avoid interruptions and manual errors in the processes and at the same time have control of the processes. By automating tasks, operational continuity is ensured without the need for constant staff. Finally, an analysis of different solutions is proposed to optimize the management of activities, establishing a centralized and controlled environment to improve operational efficiency.

*Keywords:* automation , database, operations, process control, web application

## INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones web hoy en día juegan un papel muy importante, a raíz de que las empresas y organizaciones comenzaron a adoptar la World Wide Web para ofrecer sus servicios y con la adopción masiva de la internet, las aplicaciones web han cambiado por completo nuestras vidas, la economía y la sociedad en general.

El presente trabajo propone desarrollar una aplicación web donde los usuarios puedan realizar y administrar mejor sus actividades, con el objetivo de aumentar su eficacia y eficiencia, reduciendo tiempos y posicionando a la empresa sobre la línea de la transformación digital.

La inclusión de una aplicación Web resulta hoy indispensable en cualquier proceso de gestión, ya que puede potenciar significativamente el perfil de una organización si se establece una integración tanto de las prácticas offline como también de los canales digitales.

Asimismo, este estudio posibilitará la comprensión acerca de la dificultad que tienen los usuarios para gestionar actividades y procesos, la incorporación de lo digital en sus prácticas habituales puede lograr cambios y mejoras en la organización.

Es muy importante este desarrollo para la empresa ya que el área al que está dirigida es Operaciones, esta área no debe tener impacto negativo en sus tiempos, el flujo debe ser sin errores porque es el núcleo de la empresa y es donde parte toda la información de las diferentes áreas dependientes, es por eso que al automatizar procesos sigue teniendo la continuidad de la operación sin disponer de personal 24/7, capaz de abordar cualquier problema y encontrar la solución óptima en el menor tiempo posible

Teniendo los resultados del análisis de diferentes opciones propuestas con las que se solucionará la problemática encontrada en las actividades de los usuarios, se definirán cuales serán implementadas en cada uno de los rubros para solventar la problemática, haciendo más eficientes sus procesos y teniendo un ambiente centralizado y controlado para la administración operativa de la empresa.

La transformación digital se ha consolidado como un proceso estratégico mediante el cual las organizaciones integran tecnologías digitales en todas sus áreas de operación, modificando de manera estructural la forma en la que entregan valor a sus clientes y la manera en la que ejecutan sus procesos internos (Vial, 2019). En el sector del transporte y la operación de infraestructura carretera, este fenómeno adquiere una relevancia especial debido al alto volumen de transacciones diarias y a la necesidad de garantizar exactitud en la conciliación de cobros entre múltiples operadores.

Las aplicaciones web modernas, sustentadas en arquitecturas de tres capas y patrones de diseño como Modelo-Vista-Controlador (MVC), han demostrado ser herramientas eficaces para automatizar flujos de trabajo y consolidar información dispersa en distintos sistemas (Pressman y Maxim, 2020). En este contexto, frameworks como Django han ganado relevancia por su robustez en el manejo de transacciones, su Object-Relational Mapping (ORM) integrado y su compatibilidad con bases de datos relacionales como PostgreSQL, características que resultan idóneas para sistemas que requieren integridad referencial y trazabilidad de operaciones financieras.

La automatización de procesos empresariales (Business Process Automation, BPA) ha sido identificada como uno de los principales catalizadores de la productividad organizacional, al reducir tareas manuales repetitivas y minimizar el error humano (Aguirre y Rodriguez, 2017). Estudios recientes evidencian que la implementación de procesos Extract, Transform, Load (ETL) automatizados, combinados con interfaces web responsivas, permite reducir significativamente los tiempos de conciliación de información y mejorar la calidad de los datos disponibles para la toma de decisiones (Vassiliadis, 2009).

En el ámbito particular del telepeaje en México, la coexistencia de múltiples concesionarias de autopistas y diversos operadores de tag (entre los que destacan PASE, CAPUFE y CEPISCE) genera un escenario complejo de reconciliación de viajes, en el que la pérdida de transacciones o la carga extemporánea de viajes impacta directamente en la rentabilidad operativa. Este trabajo se enmarca, por tanto, en esa convergencia entre desarrollo web, automatización de procesos y transformación digital aplicada a la operación de cobro electrónico vehicular.

## *DESARROLLO*

La innovación central de esta investigación radica en la sustitución de un modelo operativo basado en procesamiento manual de archivos por una plataforma web integral que automatiza la totalidad del ciclo de vida del viaje de telepeaje, desde su recepción desde cada operador de autopista hasta su conciliación, cobro y reporte. La aplicación propuesta articula tres componentes tecnológicos críticos: un módulo de Extracción, Transformación y Carga (ETL) para el procesamiento de archivos CSV provenientes de los operadores; un núcleo de gestión de aclaraciones con notificaciones automáticas por correo electrónico; y un generador de archivos XML estructurados para el procesamiento de cobro. El impacto esperado se concentra en cuatro vectores: reducción del tiempo de conciliación operativa, disminución del error humano en la captura, trazabilidad completa de cada viaje procesado y cumplimiento del indicador clave de desempeño de diez días naturales para conciliaciones, establecido por la dirección operativa

## *OBJETIVO GENERAL*

Diseñar desarrollar e implementar una aplicación web con motor de base de datos que permita el control de la información, administración y automatización de procesos a través de una herramienta tecnológica dinámica tanto para el usuario como para el personal de la empresa.

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- Identificar los requerimientos del sistema y de los usuarios involucrados.
- Diseñar la operación, los recursos, los costos y la capacidad del servicio.
- Establecer el análisis de gestión en temas de la planeación estratégica, la estructura organizacional y los aspectos legales.
- Diseñar una base de datos para el almacenamiento de la información perteneciente a los procesos involucrados, así como también sus avances.
- Diseñar interfaz web intuitiva y amigable para todos los usuarios del sitio web
- Realizar pruebas en la aplicación introduciendo datos simulados y reales.

## *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio de la presente investigación lo constituye el sistema operativo de procesamiento, conciliación y de viajes de telepeaje dentro del área de Operaciones de una empresa concesionaria de tag electrónico que interactúa con múltiples operadores de autopista (CEM, VEB, AUN, GANA y LEPSA) y con operadores de telepeaje complementarios (PASE, CAPUFE y CEPSICE). Este sistema constituye el núcleo informacional de la organización, ya que de su correcto funcionamiento dependen el cobro oportuno al usuario final, la conciliación de comisiones con los operadores asociados y el cumplimiento de los indicadores clave de desempeño establecidos por la dirección.

Dirigir la investigación hacia este sistema resulta relevante por tres razones fundamentales. En primer lugar, el área de Operaciones procesa diariamente miles de transacciones, por lo que cualquier mejora en su eficiencia tiene un impacto directo en los ingresos de la organización. En segundo lugar, el modelo operativo vigente, basado en hojas de cálculo y procesamiento manual de archivos CSV, presenta debilidades documentadas: pérdida de viajes no procesados, carga extemporánea de transacciones, errores de captura humana y tiempos elevados de conciliación que superan el indicador objetivo de diez días naturales. En tercer lugar, el sistema concentra información sensible relacionada con el cálculo automático de comisiones diferenciadas (uno peso para viajes con pago en efectivo y uno punto setenta y cinco pesos para viajes con pago en tarjeta de crédito), por lo que requiere garantizar integridad referencial, trazabilidad y auditabilidad de cada operación procesada.

## *METODOLOGÍA*

En términos de metodología, la investigación se basa en un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos y cualitativos. Las encuestas a los analistas y jefes de área de operaciones proporcionarán datos cuantitativos sobre la operativa de la empresa y los flujos de los procesos, mientras que las entrevistas y los estudios de caso ofrecerán una comprensión cualitativa más profunda de los desafíos y beneficios percibidos. Este enfoque permitirá una visión integral para el desarrollo del sistema web.

La implementación del Sistema se llevó a cabo en varias fases, siguiendo el ciclo iterativo e incremental característico de SCRUM. Este ciclo se seleccionó debido a su flexibilidad, capacidad de adaptación a cambios durante el desarrollo y enfoque en entregas incrementales y continuas de software funcional. La elección de SCRUM permite una interacción constante con los usuarios finales y una rápida respuesta a sus necesidades y retroalimentación, asegurando que el sistema desarrollado cumpla con sus expectativas y requerimientos.

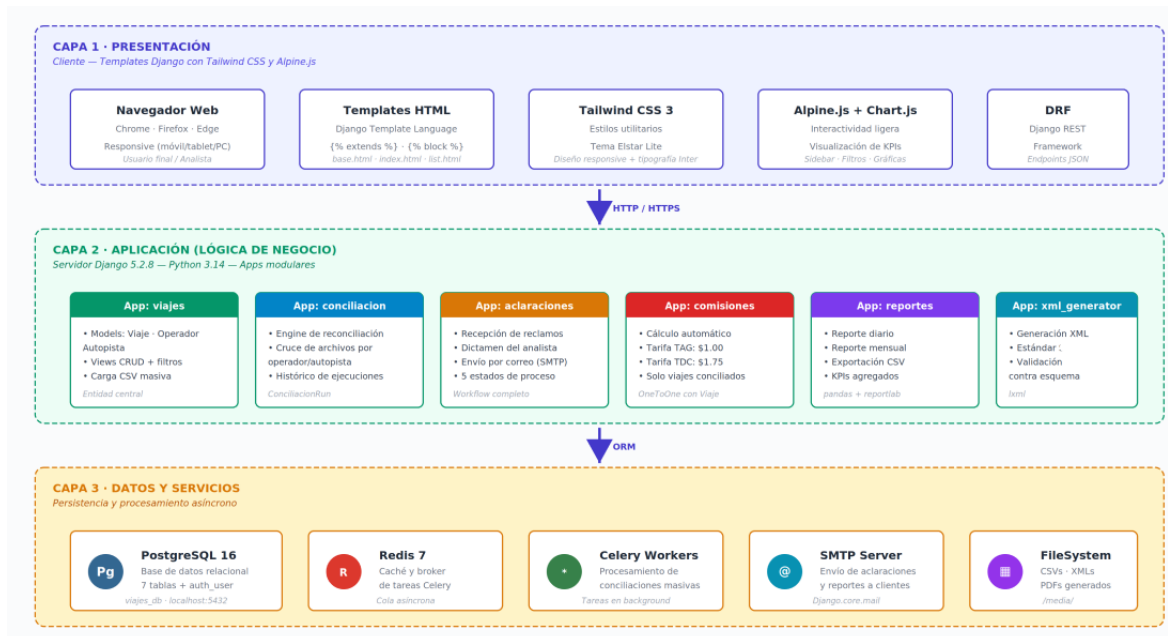
**Figura 1**  
Imagen de flujo metodología scrum



## FASES DEL DESARROLLO

La arquitectura del sistema se diseñó bajo el patrón cliente-servidor de tres capas, integrando una capa de presentación basada en HTML5, Tailwind CSS y Chart.js para visualizaciones, una capa de lógica de negocio implementada en Python con el framework Django y Django REST Framework, y una capa de persistencia sobre PostgreSQL como motor de base de datos relacional. Como infraestructura complementaria se incorporaron Redis para el manejo de caché y Celery para el procesamiento asíncrono de tareas pesadas, así como contenedores Docker para garantizar la portabilidad y reproducibilidad del entorno de despliegue. Para el procesamiento de archivos CSV provenientes de los operadores se emplearon las bibliotecas pandas y numpy, mientras que para la generación de archivos XML se utilizó lxml y para la generación de reportes en formato PDF se incorporó reportlab.

**Figura 2**  
Imagen de arquitectura utilizada en el proyecto

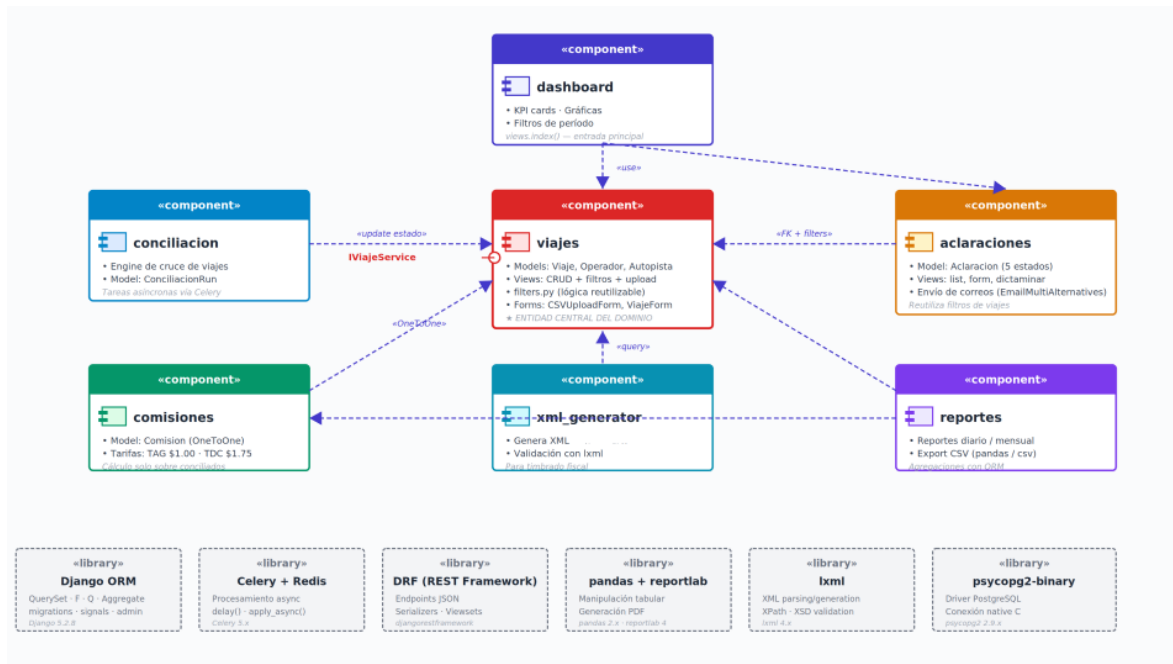


El sistema se estructuró en seis módulos funcionales principales. El módulo de Reconciliación de Viajes integra la información de los operadores de autopista (CEM, VEB, AUN, GANA y LEPSA) con la de los operadores de tag (PASE, CAPUFE y CEPISICE) para identificar coincidencias, faltantes y duplicidades. El módulo de Gestión de Aclaraciones permite registrar, dar seguimiento y resolver las incidencias detectadas, con notificaciones automáticas vía correo electrónico hacia los responsables de cada operador. El módulo de Generación de Reportes produce documentos en PDF y hojas de cálculo a partir de plantillas parametrizables. El módulo Generador de

XML construye los archivos estructurados requeridos por el proceso de cobro de viajes. El módulo de Cálculo Automático de Comisiones aplica las reglas de negocio definidas, asignando uno peso por viaje con pago en efectivo y uno punto setenta y cinco pesos por viaje con pago mediante tarjeta de crédito.

Finalmente, el módulo de Tablero (Dashboard) presenta los indicadores clave de desempeño en tiempo real, incluyendo el avance del KPI de conciliación de diez días naturales.

**Figura 3**  
Imagen de componentes del proyecto



- Planificación del Product Backlog

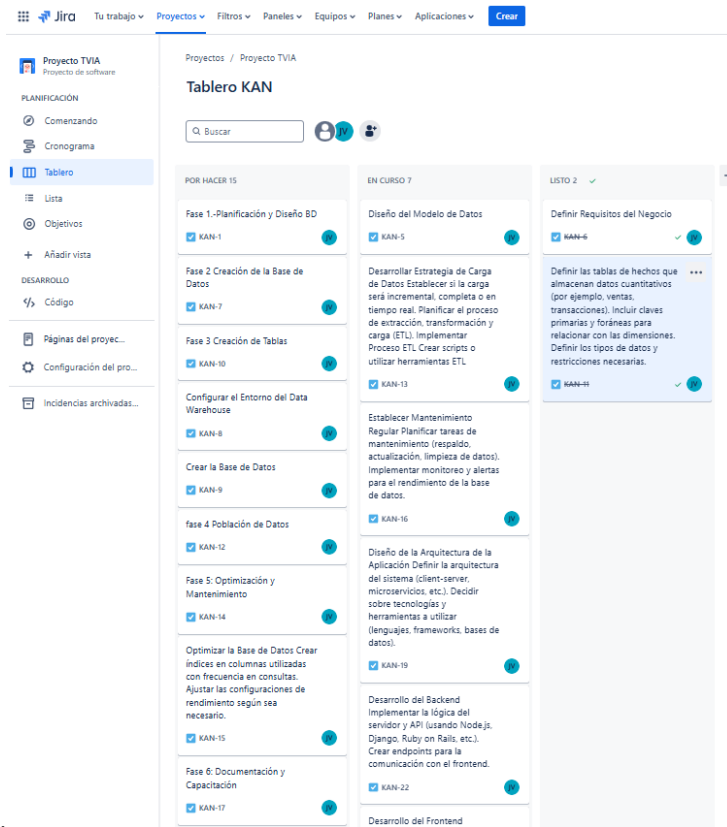
Se realizó un análisis detallado de los requisitos del sistema, considerando las necesidades de los analistas y del negocio para una correcta planificación, incluyen la definición de los objetivos estratégicos, la identificación de funcionalidades clave y la elaboración de un flujo de trabajo que optimice los procesos existentes.

Además, se evaluaron las necesidades técnicas para la implementación del desarrollo web, como la selección de tecnologías adecuadas, la arquitectura del sistema y las interfaces de usuario. En cuanto a la base de datos (BD), se establecieron los requisitos para su diseño, incluyendo la estructura de tablas, relaciones entre entidades y la capacidad de manejar volúmenes de datos esperados. Este enfoque integral asegura que tanto el desarrollo web como la base de datos estén alineados con los objetivos del negocio, proporcionando una solución robusta y escalable.

En la tabla N, describimos las tareas a realizar para el proyecto, las cuales se establecieron siguiendo las fases del desarrollo con un tablero Kanban en la herramienta de gestión de proyectos Jira. Este enfoque nos permite visualizar el flujo de trabajo de manera clara y organizada, facilitando la asignación de responsabilidades y el seguimiento del progreso. Cada tarea está categorizada según su estado actual, ya sea "Por Hacer", "En Curso" o "listo", lo que permite al equipo identificar rápidamente los bloqueos y priorizar actividades

**Figura 4**

*Imagen de actividades en sprints de metodología scrum del proyecto*



### “Ejecución/ Implementación: Sprint

Una vez completada la planificación, se comenzó con los sprints, priorizando el desarrollo de las funcionalidades seleccionadas. Durante el primer sprint, se enfocó en el desarrollo del proceso de ETL (Extracción, Transformación y Carga) para la alimentación de la base de datos, asegurando que los datos estuvieran disponibles y estructurados para su análisis. En paralelo, se implementaron stored procedures que facilitan el análisis de datos, optimizando consultas y mejorando el rendimiento de la base de datos.

En los siguientes sprints, se avanzó en la generación del desarrollo web frontend, creando una interfaz de usuario intuitiva y responsive que permite a los usuarios interactuar fácilmente con la aplicación. Esto incluyó la integración de componentes visuales y la implementación de la lógica de presentación.

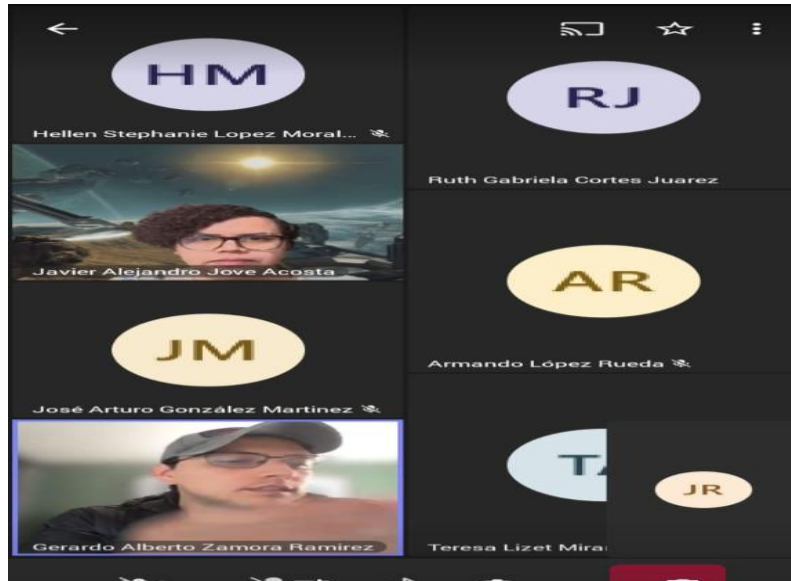
Simultáneamente, se desarrolló el backend, estableciendo la lógica de negocio para la comunicación entre el frontend y la base de datos. Este enfoque iterativo permitió al equipo realizar ajustes y mejoras en función del feedback recibido al final de cada sprint, garantizando que se cumplieran los objetivos del proyecto y las expectativas de los usuarios.

### “Control y monitorización: Daily Scrum

Los daily se llevaron a cabo diariamente con el personal involucrado, fijando fechas de inicio y fin para cada sesión. Estas reuniones fueron breves y concretas, enfocándose en los avances realizados en el trabajo y en las posibles correcciones que necesitaban realizar. Durante cada encuentro, los miembros del equipo compartieron sus progresos, identificaron obstáculos y discutieron estrategias para superarlos.

**Figura 5**

*Imagen de los daily que se llevaron durante la investigación*



Entrega:

La entrega del desarrollado en metodología Scrum se realizó bajo la supervisión del gerente de operaciones, quien es responsable de garantizar que el producto final cumpla con los requisitos y expectativas del cliente. Al finalizar el sprint, se organizó una reunión de revisión en la que se presentó las funcionalidades completadas y los resultados obtenidos. Al final del proceso, el gerente de operaciones se aseguró de que toda la documentación necesaria estuviera actualizada y que se hubiera creado un plan de mantenimiento

## *RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

La implementación del desarrollo web ha logrado un 96% de efectividad en el cobro de viajes, lo que indica que la mayoría de las transacciones se procesan correctamente y se evita la pérdida de viajes no registrados. Este alto porcentaje de éxito refleja una mejora significativa en la gestión de datos y transacciones, garantizando que cada viaje se contabilice adecuadamente. Como resultado, se ha incrementado la rentabilidad y se ha reducido la carga administrativa asociada con la reconciliación de errores.

Además, ha mejorado el KPI relacionado con el tiempo de conciliaciones de aforo con concesiones y operadores en un 90%. Este notable avance indica que el proceso de reconciliación se ha vuelto significativamente más ágil y eficiente, reduciendo el tiempo necesario para completar estas tareas cruciales. La optimización en la gestión de datos y la automatización de procesos han sido factores clave en esta mejora, facilitando una mayor colaboración y comunicación entre los diferentes departamentos involucrados.

También ha llevado a una disminución del 70% en el trabajo manual esto es un resultado significativo que resalta la efectividad del desarrollo web y la integración de nuevas tecnologías. Esta mejora no solo ha incrementado la eficiencia operativa, sino que también ha contribuido a la reducción de errores humanos, lo que es crucial en entornos donde la precisión es fundamental.

Los porcentajes reportados se obtuvieron a partir de un periodo de evaluación de seis meses, comprendido entre el primer despliegue productivo del sistema y la elaboración del presente artículo. La medición se realizó mediante consultas SQL directas sobre la base de datos PostgreSQL del sistema y se contrastó con los archivos CSV originales proporcionados por cada operador. Para el indicador de efectividad de cobro de viajes, el noventa y seis por ciento corresponde al cociente entre el número de viajes correctamente facturados y el total de viajes recibidos desde los operadores en el periodo evaluado, considerando como universo el total de transacciones procesadas por el módulo ETL. El cuatro por ciento restante corresponde a viajes en proceso de aclaración o que requieren revisión manual por inconsistencias en los datos de origen.

Respecto al noventa por ciento de mejora en el tiempo de conciliación, el instrumento de medición consistió en el registro de la fecha y hora de inicio y término de cada ciclo de conciliación, capturadas automáticamente por el sistema mediante campos de auditoría

(created\_at, updated\_at) en las tablas de la base de datos. Antes de la implementación, el tiempo promedio de conciliación con cada operador era de quince a veinte días naturales; tras la implementación, este indicador se redujo a un promedio de uno punto cinco a dos días naturales, lo cual representa una reducción aproximada del noventa por ciento. El indicador objetivo establecido por la dirección operativa es de diez días naturales, por lo que el resultado obtenido se encuentra ampliamente por debajo del umbral fijado como KPI institucional.

Finalmente, el setenta por ciento de disminución de trabajo manual se cuantificó mediante un estudio de tiempos realizado al inicio y al cierre del periodo de evaluación, en el que se midieron las horas-hombre dedicadas semanalmente a tareas de captura, conciliación, generación de reportes y elaboración de archivos XML. Antes de la implementación, el equipo operativo dedicaba aproximadamente cuarenta horas-hombre semanales a estas actividades; tras la implementación, el tiempo se redujo a un promedio de doce horas-hombre semanales, equivalentes a una disminución del setenta por ciento. La medición se realizó utilizando una bitácora de tiempos completada por el personal del área de Operaciones, validada por el jefe del área. Es importante señalar que estas métricas corresponden a una evaluación interna de la organización y que estudios posteriores deberán ampliar la muestra temporal para confirmar la sostenibilidad de los resultados en el largo plazo.

Además, al liberar a los empleados de tareas tediosas, se ha fomentado un ambiente de trabajo más motivador y productivo, lo que puede resultar en un aumento de la satisfacción laboral. Sin embargo, es importante evaluar cómo esta reducción del trabajo manual impacta la carga de trabajo general y si se requieren nuevas habilidades o capacitación para los empleados que ahora se enfocan en tareas más complejas.

La disponibilidad de informes en tiempo real representa un avance significativo en la gestión de datos dentro de la organización. Esta funcionalidad no solo mejora la agilidad en la toma de decisiones, sino que también facilita la identificación rápida de tendencias y problemas, permitiendo a los equipos responder de manera más efectiva a las necesidades del negocio.

## CONCLUSIÓN

Para concluir la investigación del desarrollo web en conjunto con la base de datos ha revelado resultados excepcionales en la optimización de procesos clave. Con un 96% de los viajes cobrados correctamente y sin pérdidas de viajes no procesados, se ha alcanzado un nivel de precisión que mejora significativamente la operativa. La reducción del 90% en el tiempo de conciliaciones de aforo con concesiones y operadores, así como en el tiempo de aclaraciones, evidencia una notable eficiencia en la gestión de datos y la resolución de incidencias. Además, la mejora en la entrega de comisiones bancarias y la disminución del trabajo manual en un 70% no solo agiliza los procesos, sino que también permiten que el equipo se enfoque en tareas más estratégicas. La capacidad de acceder a informes en tiempo real, actualizados en la plataforma, brinda a los usuarios una visión clara y oportuna de la información crítica para la toma de decisiones. En resumen, estos logros reflejan el éxito del enfoque integrado de desarrollo web, base de datos, consolidando una infraestructura robusta y eficiente para el negocio contribuyendo al crecimiento y éxito a largo plazo de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Atlassian. (n.d.). *Cómo usar Jira: 7 pasos para empezar*. Atlassian. Retrieved November 2, 2024, from <https://www.atlassian.com/es/software/jira/guides/getting-started/basics>
- Colaboración. (n.d.). KPI's ¿Qué son, para qué sirven y por qué y cómo utilizarlos? Logicalis.com. Retrieved November 2, 2024, from <https://blog.es.logicalis.com/analytics/kpis-qu%C3%A9-son-para-qu%C3%A9-sirven-y-por-qu%C3%A9-y-c%C3%B3mo-utilizarlos>
- Qué es SCRUM. (2008, agosto 4). Proyectos Ágiles. <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>
- ¿Qué son los procesos ETL? (n.d.). Powerdata.es. Retrieved November 2, 2024, from <https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/qu-son-los-procesos-etl>
- ¿Qué son los procesos ETL? (n.d.). Powerdata.es. Retrieved November 2, 2024, from <https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/qu-son-los-procesos-etl>
- Sutherland, J., Coplien, J. O., Heasman, L., Hollander, M. den, & Oliveira RamosC. (2019). *A Scrum book: the spirit of the game*. The Pragmatic Bookshelf.
- Aguirre, S. y Rodriguez, A. (2017). Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA): A Case Study. En *Applied Computer Sciences in Engineering. WEA 2017. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 742, pp. 65–71). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_7)
- Pressman, R. S. y Maxim, B. R. (2020). *Ingeniería de software: un enfoque práctico* (9a ed.). McGraw-Hill Education
- Vassiliadis, P. (2009). A survey of Extract-Transform-Load technology. *International Journal of Data Warehousing and Mining*, 5(3), 1–27. <https://doi.org/10.4018/jdwm.2009070101>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>

# ANÁLISIS DE METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN SUCS, CASO DE ESTUDIO: COLONIA PARQUE DE POBLAMIENTO, HUEJUTLA DE REYES, HIDALGO, MÉXICO

## ANALYSIS OF THE SUCS SOIL CLASSIFICATION METHODOLOGY: CASE STUDY AT TH NEIGHBORHOOD PARQUE DE POBLAMIENTO, HUEJUTLA DE REYES, HIDALGO, MÉXICO

Paola Yazmin Henry Ibarra, 0009 0001 8453 7862, paola.henry@uthh.edu.mx<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Huejutla de Reyes, México.

Héctor Hafid Sarmiento García, 0009-0007-1073-2757, hector.sarmiento@uthh.edu.mx<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Huejutla de Reyes, México.

Clara Vite Alejandrez, 0009-0005-1839-1489, clara.vite@uthh.edu.mx<sup>3</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Huejutla de Reyes, México.

Ricardo Uriel Cruz Vite, 0009-0006-6360-5367, Ricardo.cruz@uthh.edu.mx<sup>4</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Huejutla de Reyes, México.

Said Zaldivar Hernández, 0009-0003-8546-2131, said.zaldivar@uthh.edu.mx<sup>5</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Huejutla de Reyes, México.

### **Línea de investigación: Materiales y Sistemas Constructivos RESUMEN**

La investigación analiza la aplicación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Coduto, 2011) para construir una metodología operativa y estandarizable que facilite la caracterización de suelos en contextos urbanos y su incorporación en procesos de planeación, diseño y control de calidad de obras civiles. El planteamiento parte de la necesidad de clasificar suelos con criterios técnicos (granulometría por tamices, límites de Atterberg e índices asociados) para mejorar la confiabilidad del diseño y reducir riesgos vinculados al tipo de suelo. El estudio se plantea como investigación aplicada, de campo, con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, utilizando muestreo físico y ensayos de laboratorio para clasificar las muestras conforme a SUCS (Coduto, 2011). La zona de estudio corresponde a la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, definiendo un universo de unidades geotécnicas superficiales y una muestra por conveniencia de 10 puntos georeferenciados en 3 colonias, con extracción de muestras hasta 1.5 m de profundidad. Como resultados esperados, se propone entregar una guía metodológica SUCS (Coduto, 2011) y productos técnicos (reporte de muestreo, reporte de laboratorio y memoria de cálculo SUCS (Coduto, 2011)) que apoyen la toma de decisiones en proyectos de construcción.

**Palabras clave:** Suelo, Mecánica de suelos, Reconocimiento de terreno, Ingeniería Civil, Materiales de construcción.

**Clasificación JEL:** H54 Infrastructures Other Public Investment and Capital Stock, O18 Urban, Rural, Regional, and Transportation, Analysis, Housing, Infrastructure, R14 Land Use Patterns, Q55 Technological Innovation.

### **Abstract**

This research analyzes the application of the Unified Soil Classification System (SUCS) (Coduto, 2011) to develop an operational and standardized methodology that facilitates soil characterization in urban contexts and its integration into planning, design, and quality control processes for civil engineering projects. The study arises from the need to classify soils using technical criteria, including sieve granulometry, Atterberg limits, and associated indices, in order to improve design reliability and reduce risks associated with soil type and geotechnical behavior.

The research is structured as an applied, field-based study with a quantitative approach and descriptive scope, using physical sampling and laboratory testing to classify soil samples according to SUCS (Coduto, 2011). The study area corresponds to the Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, considering a universe of superficial geotechnical units and a convenience sample of ten georeferenced points distributed across three neighborhoods, with sample extraction conducted to a depth of 1.5 meters. Expected outcomes include the development of a SUCS methodological guide (Coduto, 2011), as well as technical products such as sampling reports, laboratory reports, and SUCS calculation records (Coduto, 2011) to support decision-making processes in construction projects.

**Keywords:** Soil, Soil Mechanics, Site Investigation, Civil Engineering, Construction Materials.

**Clasificación JEL:** H54 Infrastructures Other Public Investment and Capital Stock, O18 Urban, Rural, Regional, and Transportation, Analysis, Housing, Infrastructure, R14 Land Use Patterns, Q55 Technological Innovation.

## *INTRODUCCIÓN*

El sistema de clasificación SUCS (Coduto, 2011) Sistema unificado de clasificación de suelos fue establecido por Arthur Casagrande (1948) como metodología de determinación de tipos de suelo basado en cálculos de porcentajes de tamiz, límite líquido, índice plástico y coeficientes de uniformidad y curvatura del suelo. Lo anterior determina el tipo de suelo sea arcilla, limo, grava, arena, etc. Considera desde material orgánico como inorgánico. Esto es imprescindible dentro del diseño estructural de edificación y de construcción civil para determinar las probables fallas por tipo de suelo con relación al tipo de construcción.

Dictaminado por lo anterior es de gran importancia saber clasificarlos y tener la data dentro de las bases de datos de las organizaciones gubernamentales correspondientes para garantizar la calidad y fidelidad de los diseños, construcciones y uso de edificios y obras civiles.

Es por eso por lo que es de gran relevancia conocer cómo podría establecerse un método de clasificación por SUCS (Coduto, 2011) para su posible uso en organismos de gobierno y empresas para su uso y de cómo resultante mayor claridad al diseñar y ejecutar proyectos.

## *DESARROLLO*

Con el fin de garantizar un enfoque riguroso, reproducible y con impacto técnico en el análisis geotécnico de suelos urbanos. Esta investigación se clasifica como aplicada, ya que busca resolver un problema concreto relacionado con la caracterización y clasificación de suelos en una zona urbana mediante la implementación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Coduto, 2011). El objetivo es generar una metodología operativa que pueda ser replicada en estudios similares con fines de planeación, diseño y control de calidad en proyectos de infraestructura.

## *OBJETIVO GENERAL DE INVESTIGACIÓN*

- Generar una metodología de clasificación SUCS (Coduto, 2011) como guía de uso para organizaciones en su diseño y planeación de construcción.

## *OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN*

- Recabar información sobre estructura del suelo en la zona de estudio para posteriormente poder generar estrategias de zonificación.
- Realizar una zonificación para el muestreo, y así poder clasificar la data de los tipos de suelo.
- Obtener muestras de suelo con las características requeridas por SUCS (Coduto, 2011) en seguimiento del manual de extracción de muestras (Gobierno de México, 2003) y la norma AASHTO T-02 (Gobierno de Estados Unidos) con uso en la NOM-C467-ONNCCE-2019 (Gobierno de México, 2003).

## *OBJETO DE ESTUDIO*

La metodología de clasificación de suelos SUCS (Coduto, 2011) aplicada a las muestras de suelo del área de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.

## *METODOLOGÍA*

Para el tema se utilizarán los siguientes tipos de investigación:

Con el fin de garantizar un enfoque riguroso, reproducible y con impacto técnico en el análisis geotécnico de suelos urbanos. Esta investigación se clasifica como aplicada, ya que busca resolver un problema concreto relacionado con la caracterización y clasificación de suelos en una zona urbana mediante la implementación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (2011). El objetivo es generar una metodología operativa que pueda ser replicada en estudios similares con fines de planeación, diseño y control de calidad en proyectos de infraestructura.

Se trata de una investigación de campo, ya que la obtención de datos se realiza directamente a partir del muestreo físico de suelos en una zona representativa de la ciudad del municipio de Huejutla de Reyes, Hidalgo, específicamente en las siguiente zona urbana de la Colonia Parque de Poblamiento Solidaridad

Las muestras serán recolectadas in situ y sometidas a ensayos de laboratorio para su posterior clasificación conforme al

sistema SUCS (2011). Adicionalmente, se recurrirá a fuentes documentales complementarias para sustentar teóricamente el uso y evolución del SUCS (2011).

El enfoque adoptado es cuantitativo, dado que los datos recolectados (proporciones granulométricas, límites líquidos y plásticos, humedad natural, entre otros) serán analizados numéricamente para determinar la clase del suelo y comparar su comportamiento según los parámetros establecidos por Arthur Casagrande (1948). Se utilizarán tablas, gráficos y estadísticas descriptivas para facilitar la interpretación de resultados y su posible replicabilidad.

El estudio tiene un carácter descriptivo, ya que se centra en detallar las características físicas y mecánicas de los suelos mediante el uso del SUCS (2011). Asimismo, se pretende identificar patrones recurrentes y establecer criterios técnicos para su clasificación. Aunque no se busca establecer relaciones causales, sí se explorará la utilidad metodológica del sistema como herramienta técnica en contextos urbanos.

#### Universo.

El universo de estudio está conformado por el total de las unidades geotécnicas superficiales presentes en la zona urbana seleccionada de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.

#### Muestra.

La muestra fue seleccionada mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a las restricciones logísticas, de accesibilidad y seguridad propias del trabajo de campo urbano. Se establecieron 10 puntos de muestreo georreferenciados en estratégicamente para representar las principales variaciones edafológicas del área de estudio. Cada punto de muestreo generó al menos una muestra de suelo representativa, extraída a una profundidad máxima de 1.5 metros, considerando el horizonte activo para cimentaciones superficiales.

#### Variables e Indicadores.

**Tabla 1**  
*Variables e indicadores*

Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos de medición
Muestreo	Identificar cantidades y espesores de los estratos encontrados y la cantidad de muestras.  Determinar los colores por estrato.  Obtener las coordenadas de la excavación para su ubicación. Establecer existencia de aguas friáticas y afluentes.	Observación.	Reporte de muestreo de suelos.
Análisis de las muestras	Conocer humedad de la muestra, tamaño de partícula, densidad, peso volumétrico suelto-seco, granulometría y límites de consistencia.	Observación.	Reporte de estudio de tipo de suelo
Memoria de cálculo por SUCS (Coduto, 2011)	Resultante del análisis obtener y organizar la data para dar un producto de entrega.	Observación.	Memoria de cálculo por SUCS (Coduto, 2011)
Características del suelo para zonificación.	Saber el tipo de material a partir de observación y conocimiento empírico.	Observación.	Reporte técnico de conocimientos sobre el suelo previo a SUCS (Coduto, 2011).

*Nota:* Se muestran las variables, indicadores, técnicas e instrumentos de la investigación, Autoría Propia, 2025.

## FASES DE DESARROLLO

La investigación está dividida en 4 fases, las cuales tienen herramientas para comprobación por calidad de realización.

La fase 1 es un reporte de muestreo de suelos, el cual identifica las propiedades del suelo para determinar la zona de muestreo.

La fase 2 realiza un reporte de estudio de tipo de suelo, en la cual se determinan las características del suelo seleccionado por la fase 1.

La fase 3 genera una memoria de cálculo SUCS (Coduto, 2011) para organizar la información.

La fase 4 realiza un reporte técnico de conocimientos sobre el suelo previo a SUCS (Coduto, 2011) donde identifica y muestra el tipo de suelo.

## RESULTADOS

### Fase 1: Reporte de muestreo de suelos

Este reporte presenta los resultados del muestreo de suelos realizado en el municipio de Huejutla de Reyes, Hidalgo: Parque de Poblamiento Solidaridad. El propósito del muestreo fue obtener muestras alteradas e inalteradas a diferentes profundidades para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y elaborar un perfil estratigráfico preliminar. Las muestras se extrajeron manualmente mediante pala, pico, barreta y moldes cúbicos para conservar la estructura en el caso de las muestras inalteradas. A continuación se describen los resultados por sitio:

#### Parque de Poblamiento Solidaridad

- Ubicación: Colonia Parque de Poblamiento Solidaridad, Huejutla de Reyes, Hidalgo
- Coordenadas: 21.133° N, -98.417° W
- Altitud: 108 m

Tabla 2

*Características de las muestras de la colonia Parque de poblamiento.*

Estrato	Descripción visual (color, textura)	Humedad aparente	Tipo de muestra / profundidad
0.00 – 0.50 m	Capa superficial con materia orgánica mezclada con suelo fino; granulometría fina y suelta; color café claro	Moderada a seca	Ninguna
0.50 – 0.80 m	Suelo de origen aluvial con baja cohesión y fricción media; color café claro; sin inclusiones notables	Moderada	Alterada (pala) a 0.50 m
0.80 – 1.20 m	Arcilla con lentes y fragmentos de grava fina; más densa; presencia de partículas gruesas aisladas	Alta	Inalterada (pala) a 1.0 m
1.20 – 1.50 m	Arcilla fina, plástica y cohesiva; color café oscuro; buena cohesión y plasticidad media-alta	Alta	Inalterada (cubo) a 1.50 m

*Nota:* Se muestra un promedio de humedad aparente alta en los estratos más profundos y con tendencia a secarse para la superficie dando como resultado en su mayoría suelos arcillosos, Autoría Propia, 2025.

## Fase 2: Reporte de estudio de tipo de suelo

Este reporte sintetiza los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en el marco del proyecto de exploración geotécnica en la colonia Parque de Poblamiento. Se resumen las:

- Propiedades
- índices
- Contenido de humedad
- Distribución granulométrica
- Límites de Atterberg
- Relaciones volumétricas/gravimétricas

Con el fin de clasificar los suelos según el sistema SUCS y evaluar su idoneidad para aplicaciones de ingeniería.

### Resultados por sitio y estrato

Las siguientes tablas compilan los parámetros determinados para las principales zonas de estudio. Los valores provienen de las tablas y gráficas de los reportes de laboratorio, y se han resumido para resaltar el comportamiento general de cada material.

**Parque de Poblamiento Solidaridad** El estudio de laboratorio para la muestra alterada proveniente de la colonia Parque de Poblamiento Solidaridad incluyó la determinación del contenido de humedad, la granulometría, los límites de consistencia y las relaciones volumétricas. En la tabla siguiente se muestran los resultados más representativos:

**Tabla 3**

*Tabla de resultados de muestreo.*

Parámetro	Resultado / Observación
Contenido de humedad (w)	de 3 muestras alteradas e inalterada: $w \approx 16-18\%$ (media 16.9 %)
Distribución granulométrica	La muestra <i>Alterada 1</i> presentó 100 % de arena (sin grava ni finos).
Límite líquido (LL)	45.11 % – valor obtenido con el dispositivo de Casagrande.
Límite plástico (LP)	0.01 %
Índice de plasticidad (IP)	45.1 %
Relación de vacíos (e)	0.45
Porosidad (n)	49.5 %.
Clasificación SUCS	La gráfica de plasticidad ubica el punto (LL = 45.11 %, IP = 45.1 %) en la zona de arena arcillosa; se concluye que se trata de una arena con arcilla de baja plasticidad.

*Nota:* Se muestra la relación del contenido de humedad de las muestras, la distribución granulométrica, límites, índices, relación de vacíos, porosidad y su clasificación SUCS, Autoría Propia, 2025.

Además de los resultados numéricos, los reportes incluyen tablas y figuras con el detalle de los cálculos de límites de consistencia. A continuación, se reproduce la tabla de Límite líquido y plástico de la muestra alterada, con los datos de pesaje y el cálculo del contenido de humedad, así como la gráfica de plasticidad que facilita la clasificación del material.

**Tabla 4**

*Tabla de limite líquido.*

Número de muestra	Número de golpes	Para (g)	Wt + Mh (g)	Wt + Ms (g)	Ww	Ws	W%
1	8	18.01	25.25	22.97	2.28	4.96	45.97
2	13	18.9	22.08	21.01	1.07	2.11	50.71
3	24	18.24	20.82	20.1	0.72	1.86	38.71
4	32	19.03	28.08	25.27	2.81	6.24	45.03
						LL	45.11

Nota: Se muestra la relación numero de muestra- golpes, Autoría Propia, 2025.

**Tabla 5**

*Tabla de limite plástico*

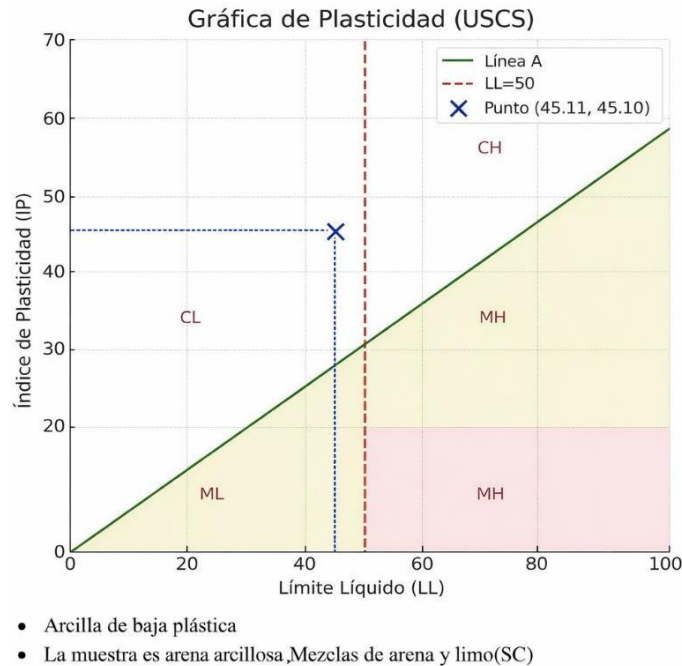
Número de muestra	Para (g)	Wt + Mh (g)	Wt + Ms (g)	Ww	Ws	W%
1	18.01	0.022	0.021	0.001	17.989	0.01
2	18.9	0.021	0.02	0.001	18.88	0.01
3	18.24	0.02	0.02	0	18.22	0.00
					LP	0.01

Nota: Con relación al número de muestra se determina el limite plástico, Autoría Propia, 2025.

El resultante del índice de plasticidad derivado de la relación del limite líquido menos el limite plástico establece el 45.1%.

Figura 1

*Gráfica de plasticidad (USCS) y clasificación de la muestra*



Nota: La figura presenta la gráfica de plasticidad del sistema unificado de clasificación de suelos basado en la posición del punto, la muestra se clasifica como suelo de comportamiento arcilloso, correspondiente a una mezcla de arena y arcilla (SC), con características de baja a alta plasticidad, Autoría Propia, 2025.

Los ensayos de laboratorio analizados permiten extraer las siguientes conclusiones sobre los suelos de las colonias estudiadas:

**Contenido de humedad** Las muestras alteradas muestran contenidos de humedad entre 16 % y 18 %, valores típicos de suelos arenosos y arcillosos en estado natural. El control de la humedad es clave para asegurar la estabilidad de las cimentaciones, ya que incrementos en  $w$  reducen la resistencia y favorecen la compresibilidad.

**Granulometría** En general se observa un predominio de fracciones arenosas con escasa presencia de grava y un porcentaje de finos variable (4 % a 7 %). Estos suelos presentan buena permeabilidad y son aptos para trabajos de compactación, pero requieren medidas de drenaje si se utilizan en obras de infraestructura.

**Límites de Atterberg** Los valores de límite líquido entre 45 % y 62 %, y índices de plasticidad de 9.9 % a 45.1 %, indican que los suelos tienen baja a media plasticidad. La gráfica de plasticidad sitúa la muestra del Parque de Poblamiento en la zona de arenas arcillosas (SC), mientras que los estratos de FOVISSSTE se clasifican como arenas con finos.

**Relaciones volumétricas y gravimétricas** Los valores de relación de vacíos ( $\sim 0.45$ ) y porosidad ( $\sim 49$  %) para San Antonio son consistentes con un suelo relativamente suelto. Estos parámetros influyen en la densidad seca y en la capacidad de soporte; su determinación es esencial para proyectos de cimentación.

En síntesis, los suelos analizados son mayoritariamente arenosos con cantidades variables de finos, presentan humedades naturales moderadas y plasticidades bajas a medias. La clasificación SUCS resultante (SC y variaciones arenosas) sirve como base para el diseño de cimentaciones superficiales y la implementación de medidas de control de humedad y compactación en futuras obras de infraestructura.

### **Fase 3: Memoria de cálculo por SUCS**

Esta memoria reúne los resultados de los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y relaciones volumétricas y gravimétricas obtenidos en los laboratorios de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. La finalidad es organizar los datos de campo y laboratorio para sustentar la clasificación de los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y proporcionar un soporte técnico al diseño y planeación de las obras civiles en las colonias estudiadas. Todas las tablas y figuras proceden de los informes PDF originales analizados en la investigación.

#### **Metodología general**

Los ensayos se desarrollaron siguiendo los procedimientos para suelos de terracería. Para cada colonia se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas a distintas profundidades; posteriormente se realizaron las pruebas de:

**Granulometría por tamizado** para determinar la distribución porcentual de partículas (gravas, arenas y finos) y calcular los parámetros de curvatura y uniformidad de la curva granulométrica.

**Límites de Atterberg** (líquido y plástico) para conocer la plasticidad de los finos y ubicar los puntos en la carta de plasticidad USCS.

**Relaciones volumétricas y gravimétricas** para determinar el contenido de agua, el peso volumétrico seco, la relación de vacíos y la porosidad.

Con los resultados se aplicaron los criterios del SUCS, asignando el grupo de suelo a cada muestra en función del porcentaje de finos y de la posición del punto (LL, IP) en la carta de plasticidad.

#### **Parque de Poblamiento Solidaridad**

En esta colonia se analizaron muestras procedentes del Parque de Poblamiento Solidaridad. La granulometría de la muestra alterada mostró un predominio de arenas, de modo que los parámetros característicos se calcularon con los diámetros correspondientes al 10 %, 30 % y 60 % de material que pasa. Los límites de Atterberg se determinaron con golpes en copa de Casagrande y con el ensayo de hilos para el límite plástico.

## Resultados granulométricos y parámetros derivados

**Tabla 6**

*Tabla resultantes granulométricos.*

Parámetro	Valor	Interpretación
$D_{10}$ (mm)	1.534	diámetro efectivo: tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 10 % de la muestra
$D_{30}$ (mm)	1.614	diámetro correspondiente al 30 % que pasa
$D_{60}$ (mm)	14.7	diámetro correspondiente al 60 % que pasa
Coefficiente de uniformidad ( $C_u$ )	de 9.58	calculado como $C_u = D_{60}/D_{10}$ ; indica un suelo bien graduado (muy disperso en tamaños)
Coefficiente de curvatura ( $C_c$ )	de 0.12	$C_c = D^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$ ; un valor cercano a 1 indica una curva uniforme

*Nota:* Se muestra la interpretación de los parámetros granulométricos con relación a los valores, Autoría Propia, 2025.

## Límites de Atterberg y clasificación SUCS Tabla 7

*Tabla de límites Atterberg y clasificación SUCS*

Parámetro	Valor	Significado
Límite líquido (LL)	45.11 %	se obtuvo a partir del promedio de cuatro determinaciones con diferentes números de golpes
Límite plástico (LP)	0.01 %	la muestra prácticamente no presentó plasticidad residual
Índice de plasticidad (IP)	de 45.1 %	$IP = LL - LP$ ; señala alta plasticidad
Grupo SUCS	SC – arena arcillosa	el punto ( $LL \approx 45$ , $IP \approx 45$ ) se localiza por encima de la línea A de la carta de plasticidad; el suelo se clasifica como arena con arcilla de baja plasticidad

*Nota:* Expresa la relación de los parámetros de límites líquido y plástico con relación al índice de plasticidad y su agrupación a SUCS, Autoría Propia, 2025.

## Fase 4: Reporte de conocimientos previos del suelo antes de la clasificación SUCS

Esta síntesis resume la información sobre las características del suelo obtenida en las colonias estudiadas antes de aplicar la metodología SUCS. Se integran las observaciones de campo, las descripciones geológicas y las clasificaciones edafológicas consignadas en los reportes de muestreo y análisis preliminar. El objetivo de este documento es ofrecer una visión unificada de los tipos de suelo, su

origen y su comportamiento esperado de manera sucinta, sin repetir los informes detallados previos.

### *Resumen de colonia*

**Tabla 8***Síntesis de resultados de la colonia.*

Sitio (colonia)	Tipo y origen del material	Condición del terreno y humedad	Estratigrafía/pre-SUCS
Parque de Poblamiento Solidaridad	Predominan arcillas plásticas con capas de humus superficial y arenas aluviales; origen aluvial ligado a depósitos s.	Terreno semiplano; humedad alta en estratos profundos; capa superficial moderadamente seca.	Estrato superficial de humus (0–0.50 m); capa aluvial franco-arenosa (0.50–0.80 m); arcilla con grava fina (0.80–1.20 m); arcilla plástica fina (1.20–1.50 m)

*Nota:* La colonia Parque de Poblamiento Solidaridad muestra predominancia de arcillas plásticas con terrenos semiplanos de humedad alta a profundidad y superficie seca, Autoría Propia, 2025.

## CONCLUSIONES

El estudio integró de manera consistente la zonificación del área, el muestreo de campo y los ensayos de laboratorio para sustentar la clasificación de suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La evidencia confirma que las descripciones preliminares del terreno (color, textura, compacidad y humedad aparente) son útiles para orientar la exploración, pero no sustituyen la caracterización mediante granulometría y límites de Atterberg, indispensables para una clasificación objetiva y reproducible.

En los sitios analizados predominan materiales granulares (arenas) con proporciones variables de finos, lo que implica cambios relevantes en el comportamiento geotécnico entre estratos y profundidades. Esta variabilidad estratigráfica refuerza la necesidad de muestrear a distintos niveles y de documentar con trazabilidad las condiciones de excavación, conservación de muestras y procesamiento de datos. La memoria de cálculo SUCS permitió organizar resultados y justificar técnicamente la asignación de grupos, evitando interpretaciones empíricas no verificables.

En términos aplicados, los productos derivados (reporte de muestreo, reporte de laboratorio y memoria SUCS) constituyen una base técnica para orientar decisiones preliminares de cimentación superficial y control de compactación, enfatizando la gestión de humedad como variable crítica para minimizar riesgos de asentamientos.

## REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D2487-17: Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International.

American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D4318-17e1: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. ASTM International.

American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM D422-63(2007)e2: Standard test method for particle-size analysis of soils* (withdrawn 2016). ASTM International.

(Nota: en laboratorios actuales suele sustituirse por ASTM D6913/D7928).

Braja M. Das, & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2014). *Mecánica de suelos* (Vols. I y II). Limusa.

Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil mechanics*. John Wiley & Sons.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Normas para construcción e infraestructura: N-CMT-1-02/02: Clasificación de materiales para terracerías*. SCT.

Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. (2025). *Reportes de laboratorio de Mecánica de Suelos*. Documento interno de prácticas académicas.

## FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## AGRADECIMIENTOS

Se da agradecimiento al Dr. Martín Badillo Maldonado por la posibilidad de la elaboración del artículo y su apertura en el uso del recurso humano institucional.

De igual manera a los alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la misma universidad.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

1. Conceptualización: Paola Yazmín Henry Ibarra1.
2. Curación de datos: Said Zaldivar Hernandez5
3. Análisis formal: Clara Vite Alejandrez3
4. Adquisición de fondos: Ricardo Cruz Vite4
5. Investigación: Paola Yazmin Henry Ibarra1, Héctor Hafid Sarmiento García2
6. Metodología: Héctor Hafid Sarmiento García2
7. Administración del proyecto: Clara Vite Alejandrez3
8. Recursos: Ricardo Cruz Vite4
9. Software: Said Zaldivar Hernandez5
10. Supervisión: Paola Yazmin Henry Ibarra1
11. Validación: Paola Henry Ibarra1, Héctor Hafid Sarmiento García2
12. Visualización: Paola Yazmin Henry Ibarra1
13. Redacción – borrador original: Paola Yazmin Henry Ibarra1, Héctor Hafid Sarmiento García2
14. Redacción – revisión y edición: Héctor Hafid Sarmiento García2

# APLICACIÓN PARA LA ASISTENCIA EN PROCESOS DE DUELO

Sabdiel Cruz Luna<sup>1</sup>, Claudia Yadira Luna Carrasco<sup>2</sup>, Cupertino Luna Trejo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango / [sabdiel.cl@huauchinango.tecnm.mx](mailto:sabdiel.cl@huauchinango.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango / [claudia.lc@huauchinango.tecnm.mx](mailto:claudia.lc@huauchinango.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango / [cupertino.lt@huauchinango.tecnm.mx](mailto:cupertino.lt@huauchinango.tecnm.mx)

**Línea de investigación:** Software

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar, desarrollar e implementar tecnologías de asistencia basadas en UX/UI para apoyar emocionalmente a personas en proceso de duelo. La metodología empleada fue Design Thinking, la cual permitió identificar necesidades reales de los usuarios mediante técnicas cualitativas y cuantitativas como entrevistas, encuestas y pruebas de usabilidad. Como resultado, se desarrollaron prototipos funcionales con interfaces intuitivas y centradas en el usuario, los cuales fueron evaluados con usuarios finales, evidenciando mejoras en la interacción, accesibilidad y percepción de apoyo emocional. El uso de metodologías centradas en el usuario favorece la creación de soluciones tecnológicas más empáticas y efectivas, contribuyendo al bienestar emocional y a la innovación en el desarrollo de software aplicado a la salud mental.

**Palabras clave:** *Design Thinking, Duelo, Experiencia de Usuario, Videojuegos.*

## Abstract

This work aims to design, develop, and implement UX/UI-based assistive technologies to provide emotional support to people experiencing grief. The methodology employed was Design Thinking, which allowed for the identification of users' real needs through qualitative and quantitative techniques such as interviews, surveys, and usability testing. As a result, functional prototypes with intuitive, user-centered interfaces were developed and evaluated with end users, demonstrating improvements in interaction, accessibility, and the perception of emotional support. The use of user-centered methodologies fosters the creation of more empathetic and effective technological solutions, contributing to emotional well-being and innovation in the development of software applied to mental health.

**Keywords:** *Design Thinking, Grief, User Experience, Video Games.*

## INTRODUCCIÓN

El duelo es un proceso emocional complejo que afecta significativamente el bienestar de las personas. En la actualidad, las tecnologías digitales representan una oportunidad para brindar apoyo emocional mediante herramientas accesibles e interactivas. Desafortunadamente, muchas soluciones existentes carecen de personalización y diseño centrado en el usuario, limitando su efectividad.

Como destaca Donald A. Norman en "El diseño de las cosas cotidianas", el diseño de cualquier herramienta, ya sea física o digital, debe priorizar las necesidades y experiencias del usuario. En el contexto del duelo, esto implica crear interfaces intuitivas, empáticas y accesibles que fomenten la expresión emocional y la conexión social.

El duelo es un proceso individual y único, por lo que las soluciones tecnológicas deben adaptarse a las necesidades y preferencias de cada persona. La personalización puede incluir la selección de contenidos, la configuración de recordatorios y la adaptación de la interfaz a las preferencias del usuario.

La investigación de Beristain (2020) subraya que el diseño de tecnologías de asistencia no solo debe considerar la funcionalidad del software, sino también su impacto en la salud mental del usuario. Por ello el desarrollo de este software, se enfatiza la importancia de la accesibilidad digital y el diseño centrado en el usuario para mejorar la eficacia de las intervenciones psicológicas en línea, particularmente en poblaciones vulnerables.

Por otro lado, Jiménez (2021) analizó diversas aplicaciones móviles orientadas al bienestar emocional, concluyendo que aquellas que integraban principios de UX/UI presentaban mayores tasas de aceptación y adherencia por parte de los usuarios. Esta evidencia apoya la idea de que un diseño intuitivo y empático puede influir significativamente en la disposición de los individuos a utilizar tecnologías digitales como recurso de apoyo.

Pérez (2023) explora el vínculo entre accesibilidad y experiencia de usuario en el desarrollo de aplicaciones de bienestar mental, argumentando que el éxito de una herramienta tecnológica radica tanto en su contenido terapéutico como en la facilidad de navegación. Su estudio en la UNAM evidencia que interfaces amigables y adaptativas promueven la autonomía del usuario y su compromiso con el proceso de afrontamiento.

Por ello la Aplicación para Asistencia en Procesos de Duelo se enfoca en el desarrollo de tecnologías de asistencia basadas en UX/UI, integrando principios de usabilidad y empatía para mejorar la experiencia del usuario y contribuir a su bienestar emocional.

El desarrollo de tecnologías interactivas ha permitido explorar nuevas formas de apoyo emocional mediante experiencias digitales. En particular, los entornos interactivos y narrativos pueden influir en la forma en que los usuarios procesan emociones complejas como el duelo.

Sin embargo, muchas soluciones carecen de un diseño centrado en el usuario que permita una experiencia significativa. Por ello, este proyecto conlleva al uso de UX/UI y Design Thinking desarrollando una solución digital que combine narrativa, interacción y apoyo emocional.

## DESARROLLO

### OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

#### Objetivo General

Desarrollar un software de aplicación con enfoque en entretenimiento basado en principios de UX/UI como herramienta tecnológica de asistencia para el apoyo emocional en procesos de duelo.

#### Objetivos Específicos

Dentro de los objetivos específicos principales se encuentran los siguientes:

Analizar las necesidades emocionales y tecnológicas de las personas en proceso de duelo.

Diseñar prototipos de software con interfaces intuitivas y amigables, basadas en principios de UX/UI.

Aplicar técnicas y métodos basados en una metodología centrada en el usuario.

## OBJETO DE ESTUDIO

El desarrollo de tecnologías de asistencia dirigidas a personas en proceso de duelo representa una innovación en el uso de herramientas digitales para la salud emocional. A través de estrategias centradas en el usuario, es posible ofrecer recursos interactivos que contribuyan a la regulación emocional y el afrontamiento adaptativo.

Es por ello que el objeto de estudio de este proyecto es el desarrollo de un prototipo de software con enfoque en entretenimiento para la asistencia en la superación del duelo. Esta aplicación tiene como propósito asistir a los usuarios, en proceso de superación del duelo, con una narrativa a través de la experiencia del usuario. Asimismo, el desarrollo de la aplicación se centra bajo el género de “juegos de reflexión” o “juegos de experiencia emocional” considerando como factor principal la experiencia del usuario (user experience).

El proyecto ofrece a las poblaciones en duelo una herramienta digital accesible que les permite gestionar sus emociones de manera efectiva. Esta aplicación no solo facilita la expresión de sentimientos como la tristeza y la ansiedad, sino que también promoverán un entorno más consciente del bienestar psicológico. Al proporcionar recursos interactivos y personalizados, se espera que los usuarios encuentren un espacio seguro para reflexionar sobre su proceso de duelo y conectarse con otros que están pasando por experiencias similares.

## METODOLOGÍA

Como parte estratégica para el desarrollo del proyecto se eligió la metodología Design Thinking, la cual permite una aproximación iterativa y centrada en el usuario. Esta metodología consta de cinco fases principales según Uribe, 2021:

**Empatizar:** Identificación de las necesidades emocionales y tecnológicas de los usuarios a través de entrevistas y encuestas. Centrarse en comprender sus experiencias y desafíos para construir una base sólida para el proceso de diseño.

**Definir:** Análisis de los hallazgos para establecer los problemas clave a resolver. Identificar y articular los problemas clave que deben abordarse, asegurando claridad sobre las necesidades de los usuarios.

**Idear:** Generación de ideas y conceptualización de soluciones digitales centradas en UX/UI. Enfatizar la creatividad y la colaboración para explorar varios enfoques en mejora de la experiencia del usuario y la interfaz de usuario.

**Prototipar:** Desarrollo de prototipos funcionales que representen las soluciones propuestas.

**Testear:** Evaluación de usabilidad y validación con usuarios finales para realizar mejoras iterativas. Utilizando los conocimientos de las pruebas para realizar mejoras, refinando el diseño en función de las interacciones y preferencias reales del usuario.

La metodología Design Thinking es utilizada en la mejora del proceso de desarrollo de software, como, por ejemplo: diseño de aplicaciones móviles, desarrollo de videojuegos, etc. Además, Design Thinking puede utilizarse para el aprendizaje basado en proyectos, la obtención de requisitos y temas relevantes como la ciberseguridad. Al combinarse los métodos ágiles con el pensamiento de diseño se logra se mejora el desarrollo de software (Cahui, 2022).

La metodología Design Thinking en el desarrollo de software integra conocimientos sobre experiencia de usuario y diseño de interfaces que permiten enfrentar desafíos y obstáculos durante el proceso de desarrollo. Además de una exhaustiva investigación de usuario, se apoya en diversas herramientas de software para facilitar su aplicación en el desarrollo de aplicaciones móviles, web y de escritorio; estas herramientas, permiten la colaboración, la ideación, la creación de prototipos y las pruebas, así como una gestión más eficiente del proceso iterativo y centrado en el usuario.

Design Thinking, permite el desarrollo de aplicaciones interactivos, como los videojuegos, por lo que es fundamental aplicar herramientas y técnicas que permitan comprender al usuario, optimizar el diseño y comunicar de forma efectiva las ideas. Por lo que, en la siguiente sección se describen las fase y técnicas desarrolladas.

## FASES DEL DESARROLLO

Los videojuegos son experiencias interactivas en las que los jugadores toman decisiones que influyen en el desarrollo de la historia y en la forma en que enfrentan los desafíos. Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la jugabilidad, es fundamental diseñar interfaces intuitivas y una experiencia de usuario eficiente, especialmente para aquellos jugadores que no cuentan con la misma experiencia que los más veteranos. En títulos con mecánicas dinámicas, donde las acciones deben ejecutarse con rapidez, una interfaz bien implementada evita que el jugador se sienta frustrado o sobrecargado.

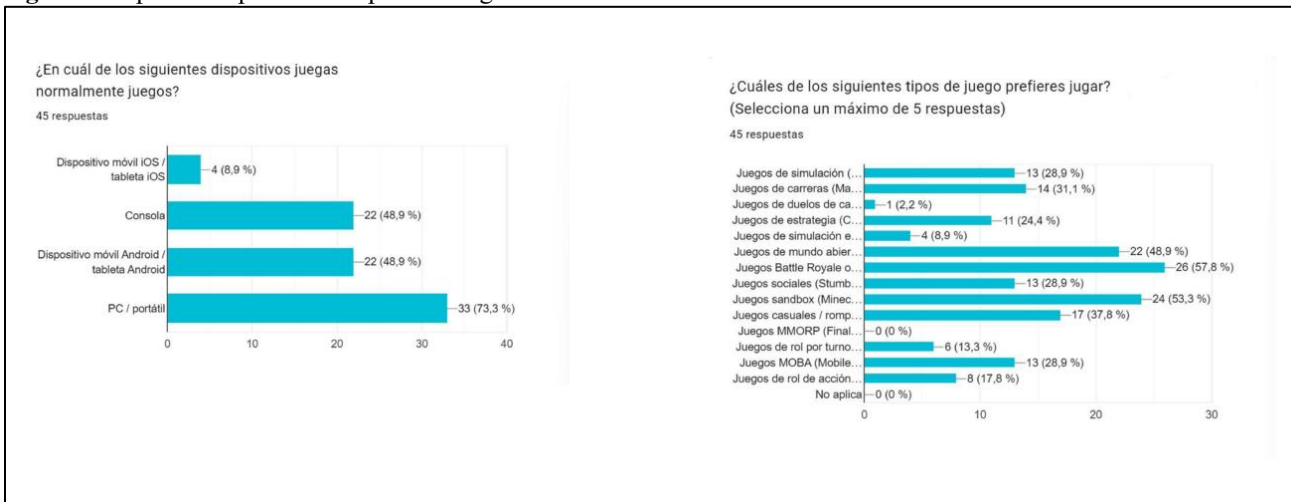
Considerando Design Thinking, metodología centrada en el usuario, se desarrollaron las siguientes fases:

## Fase 1: Empatizar

Por ello, las actividades que se desarrollaron en esta etapa son: investigación etnográfica, se realizaron observaciones directas en el entorno de los usuarios para comprender sus comportamientos y contextos, así como entrevistas para entender a los usuarios y de esta manera tener una investigación profunda de los mismos; creación de "User Personas", se desarrollaron perfiles detallados de usuarios representativos, incluyendo sus necesidades emocionales y tecnológicas, motivaciones y frustraciones; mapas de empatía, se elaboraron mapas visuales que capturan lo que los usuarios dicen, piensan, sienten y hacen; entrevistas en profundidad, se realizaron entrevistas semiestructuradas para explorar las experiencias y desafíos de los usuarios de manera más profunda y análisis de datos cualitativos, utilizando técnicas de análisis de contenido para identificar patrones y temas clave en los datos recopilados.

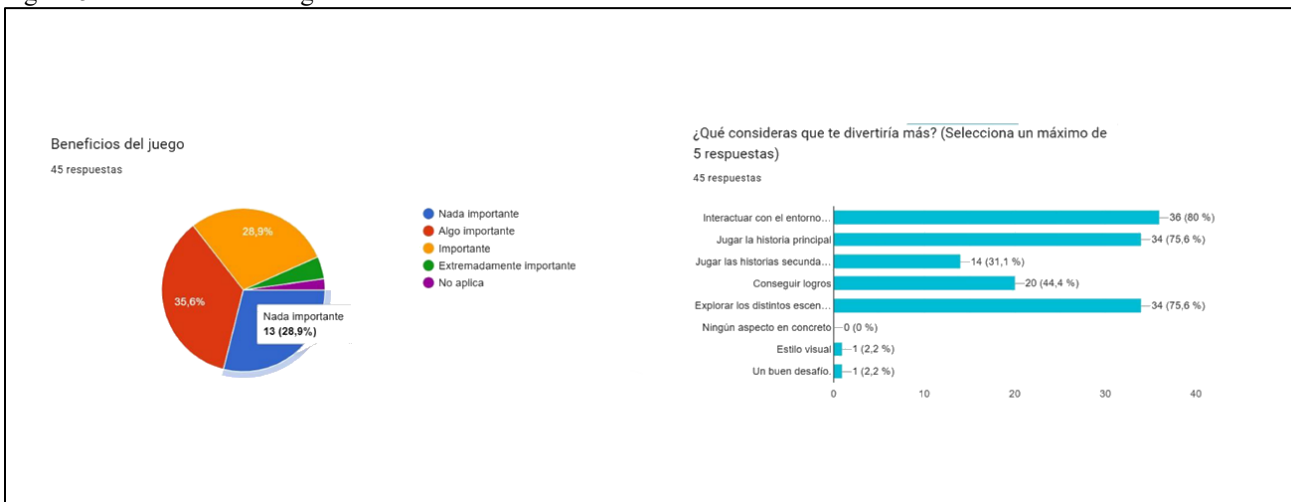
Las figuras 1 y 2 muestran algunos resultados de las entrevistas y encuestas realizadas. En la figura 1, se muestran los resultados sobre el uso de dispositivos que los usuarios ejecutan normalmente, así como los tipos de juego que prefieren jugar; en la figura 2, se muestran los porcentajes de importancia de este, restando que la mayoría de los entrevistados lo consideran importante; también, se muestran las diferentes actividades dentro del videojuego, entre las que destaca interactuar con el entorno.

Figura 4. Tipo de Dispositivo / Tipos de Juegos



Nota: Fuente Propia

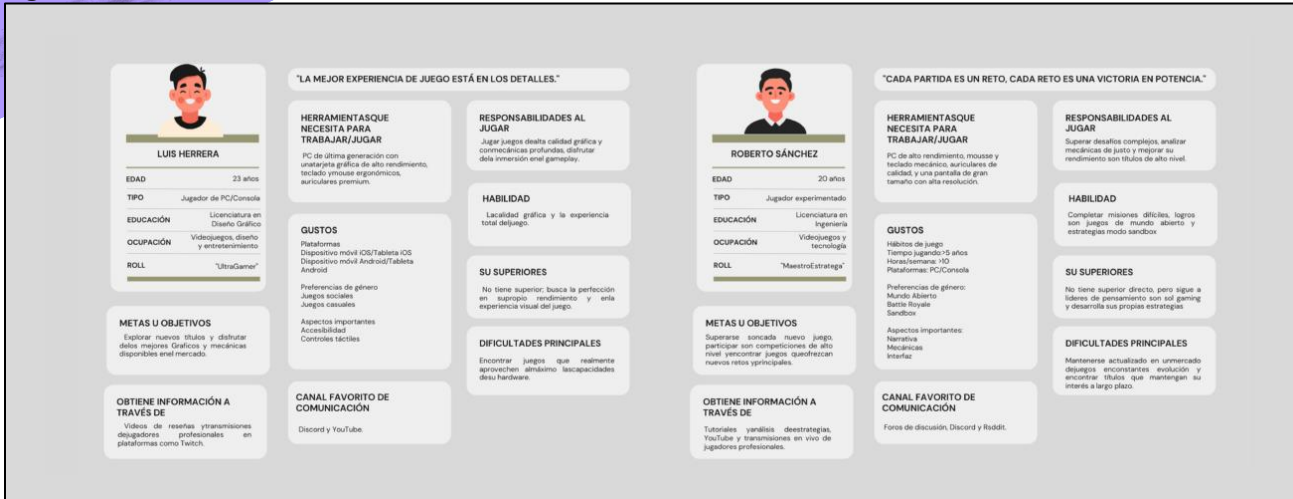
Figura 5. Beneficios del Juego / Diversión



Nota: Fuente Propia

La figura 3, muestra dos de los User Persona como parte de los diagramas de afinidad que se desarrollaron, en ellos datos relevantes de la investigación de usuarios.

Figura 6. User Persona



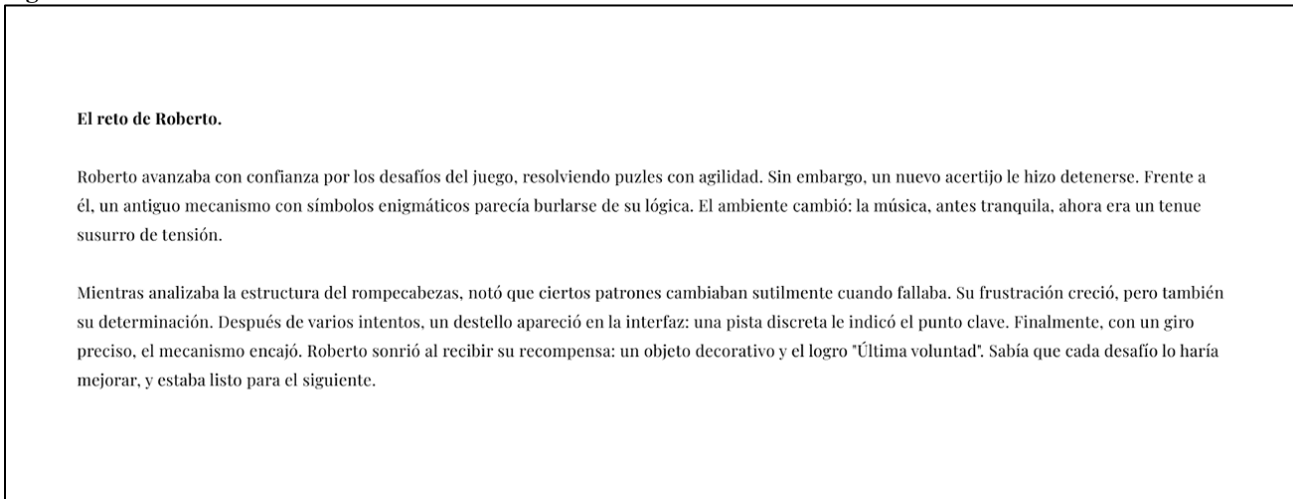
Nota: Fuente Propia

### Fase 2: Definir

Para esta etapa, se llevaron a cabo las siguientes actividades: análisis de Pain Points (Puntos de Dolor), se identificaron los puntos de dolor o frustraciones más significativos de los usuarios; creación de User Stories (Historias de Usuario), se redactaron historias que describen las necesidades de los usuarios desde su perspectiva; definición del Problema, se formuló una declaración clara y concisa de las problemáticas a resolver; creación de diagramas de afinidad, en esta actividad se agruparon y organizaron los datos recopilados para identificar patrones y temas clave, y establecer los criterios de éxito, se definieron métricas que permitieron el éxito del proyecto.

La figura 4, muestra una User Story basada en la perspectiva de los jugadores, aquí se muestra la historia "el reto de Roberto".

Figura 7. User Stories



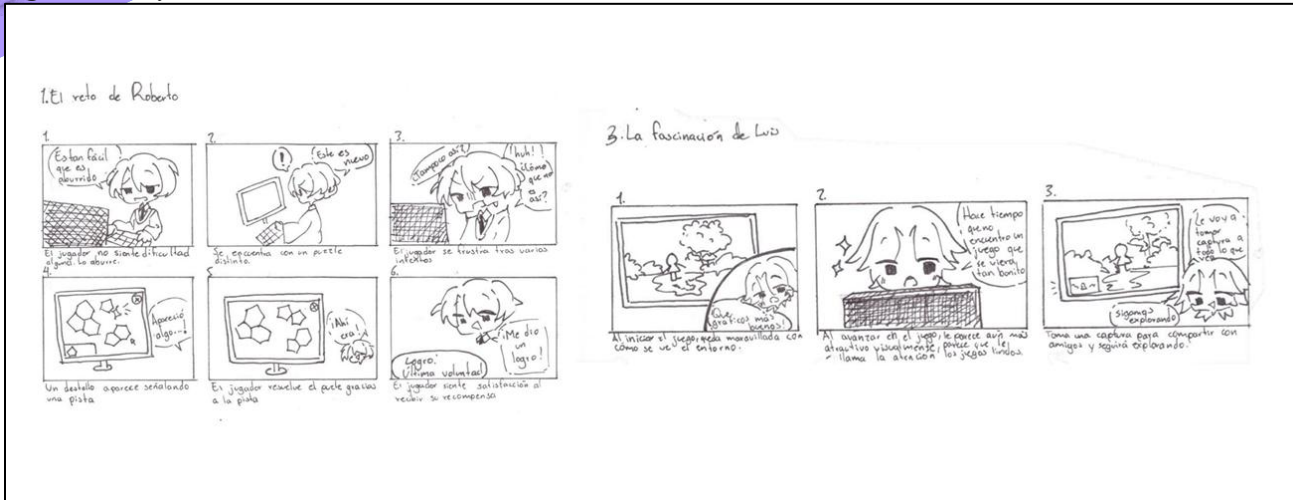
Nota: Fuente Propia

### Fase 3: Idear

Las actividades desarrolladas en esta etapa fueron: sesiones de "Brainstorming", se generaron una gran cantidad de ideas sin juicio previo; aplicación de la técnica "Crazy 8's", donde se realizaron ejercicios rápidos de generación de ideas para fomentar la creatividad en la resolución de las problemáticas identificadas en la etapa anterior; creación de "Storyboards", de esta manera se logrará visualizar las posibles soluciones a través de secuencias de imágenes; desarrollo de "Wireframes", con el fin de crear esquemas básicos de la interfaz de usuario para explorar diferentes diseños según las necesidades de los usuarios; matriz de priorización de ideas, se evaluaron y seleccionaron las ideas más prometedoras en función de su viabilidad e impacto.

La figura 5, muestra dos “Storyboards” para visualizar las soluciones a través de secuencia de imágenes.

**Figura 8. Storyboard**



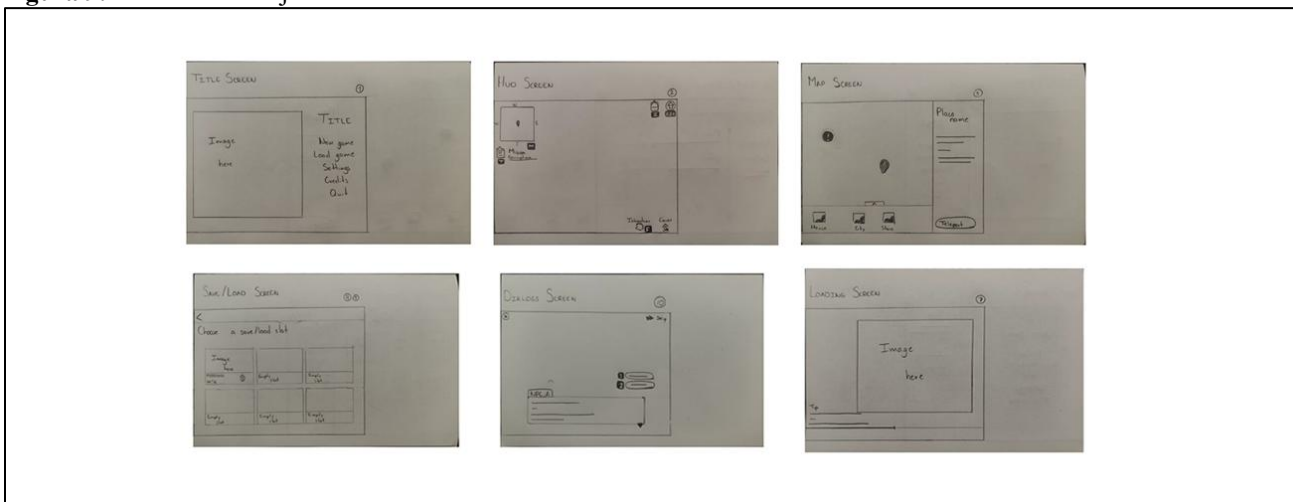
Nota: Fuente Propia

**Fase 4: Prototipar**

En esta etapa, se logró el desarrollo de las siguientes actividades: desarrollo de prototipos de baja fidelidad, con creación de prototipos rápidos y económicos para probar conceptos básicos; desarrollo de prototipos de alta fidelidad, se crearon prototipos interactivos y visualmente atractivos para simular la experiencia del usuario, pruebas de usabilidad internas: se realizaron pruebas con el equipo de desarrollo para identificar posibles problemas; creación de prototipos interactivos, utilizando herramientas digitales se crearon prototipos para la simulación de la funcionalidad del proyecto, y al final se desarrollaron prototipos de alta fidelidad con el fin de para probar la interacción de la aplicación en un entorno real.

La figura 6, muestra el desarrollo de prototipos de baja fidelidad, necesarios para el desarrollo del proyecto sobre todo cuando se trata de las interfaces de usuario.

**Figura 9. Wireframes. Baja Fidelidad.**



Nota: Fuente Propia

## Fase 5: Testear

En esta etapa, se logró el desarrollo de las siguientes actividades: evaluación de usabilidad y validación con usuarios finales para realizar mejoras iterativas. Utilizando los conocimientos de las pruebas para realizar mejoras, refinando el diseño en función de las interacciones y preferencias reales del usuario. El en siguiente apartado se muestra el resultado final.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte de los resultados, se encontró evidencia de que los prototipos desarrollados presentaron mejoras significativas en usabilidad y accesibilidad. Los usuarios reportaron mayor facilidad de uso, comprensión de la interfaz y percepción de acompañamiento emocional. Además, se observó que la integración de UX/UI incrementa la aceptación y el compromiso del usuario, lo cual coincide con estudios previos que destacan la importancia del diseño centrado en el usuario en aplicaciones de bienestar emocional.

El benchmarking evidenció que referentes como juegos narrativos influyen en la percepción del usuario, confirmando la importancia del diseño emocional. En la figura 7, se muestra un resumen comparativo de los principales competidores en juegos puzzless y mundo abierto con títulos como Resident Evil, The Legend of Zelda, Metro 2033, Genshin Impact y Honkai Star Rail y Undertale.

Figura 10. Benchmarking

Juego	Experiencia de Juego	Interacción con el Entorno	Narrativa	Mecánicas de Juego
Resident Evil	Ofrece una experiencia inmersiva de survival horror, combinando exploración y resolución de acertijos.	Interacción limitada pero significativa; los objetos y escenarios contribuyen a la atmósfera y narrativa visual.	Historia coherente y envolvente que mantiene la tensión y el interés del jugador.	Combina combate, gestión de recursos y resolución de enigmas. Evoluciona hacia una jugabilidad más orientada a la acción en entregas posteriores.
The Legend of Zelda	Proporciona una aventura de acción en un mundo abierto, fomentando la exploración y el descubrimiento.	Alta interacción con el entorno; los jugadores pueden manipular objetos, resolver acertijos ambientales y descubrir secretos.	Narrativa épica centrada en la lucha entre el bien y el mal, con temas de heroísmo y destino.	Combate en tiempo real, exploración y resolución de acertijos, con progresión basada en habilidades y herramientas.
Metro 2033	Sumergido en un mundo postapocalíptico, ofrece una experiencia intensa y atmosférica.	Interacción detallada con el entorno; la gestión de recursos y la exploración son clave para la supervivencia.	Narrativa profunda que explora temas de humanidad y supervivencia en condiciones extremas.	Combina sigilo, combate y gestión de recursos en un entorno inusual pero detallado.
Genshin Impact	Ofrece una experiencia de mundo abierto con combates dinámicos y exploración libre.	Alta interacción; los jugadores pueden recolectar recursos, cocinar y participar en eventos del mundo.	Historia en constante evolución con múltiples personajes y arcos argumentales.	Sistema de combate basado en elementos y cambio de personajes, con énfasis en la sinergia de habilidades.
Honkai: Star Rail	Aventura espacial con elementos de rol y estrategia por turnos.	Interacción moderada; se enfoca en los combates y el desarrollo de personajes.	Narrativa centrada en viajes espaciales y conflictos intergalácticos.	Combate por turnos con énfasis en la estrategia y formación de equipos.
Undertale	Juego de rol innovador que permite elegir entre combatir o mostrar misericordia a los enemigos.	Interacción significativa; las decisiones del jugador afectan directamente el desarrollo y desenlace de la historia.	Narrativa única que desafía las convenciones del género, explorando temas de moralidad y consecuencias.	Combina mecánicas de bullet hell, elementos de rol y toma de decisiones.

Nota: Fuente Propia

Se desarrolló un prototipo funcional que integra narrativa emocional y mecánicas interactivas. Los usuarios reportaron: mayor inmersión en la experiencia, interacción intuitiva con la interfaz y conexión emocional con la narrativa del duelo.

La figura 8, muestra la experiencia emocional de usuarios representativos a través de Journey Maps a lo largo de su interacción con el juego.

Figura 11. Journey Maps

	Acciones	Emociones	Necesidad	Puntos	Oportunidades de mejora
Descubrimiento	Lee una reseña sobre el juego en un blog narrativo	Curiosidad, Interés	Confirmar si el juego ofrece profundidad y estética	Bloggs literarios, redes sociales	Crear trailers o teasers que destaquen arte, tono emocional y calidad narrativa
Inicio del juego	Inicia partida, presencia cinematográfica a introductoría	Intriga, empatía inicial	Conectar emocionalmente con Lioran desde el primer momento	Menú principal cinematográfica	Incluir voz en off y pensamientos internos del protagonista desde la escena inicial
Exploración emocional	Interactúa con objetos simbólicos y NPCs con historia	Conexión, melancolía	Explorar y comprender emociones a través del entorno	Escenar los oníricos, interfaz de diálogo	Descripciones poéticas, audio ambiental emocional, y elecciones con peso narrativo
Transición de etapa	Supera un reto simbólico y cambia el escenario	Asombro, tristeza, reflexión	Sentir el avance emocional reflejado visualmente	Música dinámica, paleta cromática, entorno	Transformación es visibiles del entorno según el progreso emocional (estaciones, clima)
Final o pausa	Guarda partida tras una escena conmovedora	Satisfacción, melancolía suave	Recordar y revivir momentos clave del viaje emocional	Sistema de guardado, diario de recuerdos	Añadir sección de entradas desbloqueadas con reflexiones propias o de Lioran

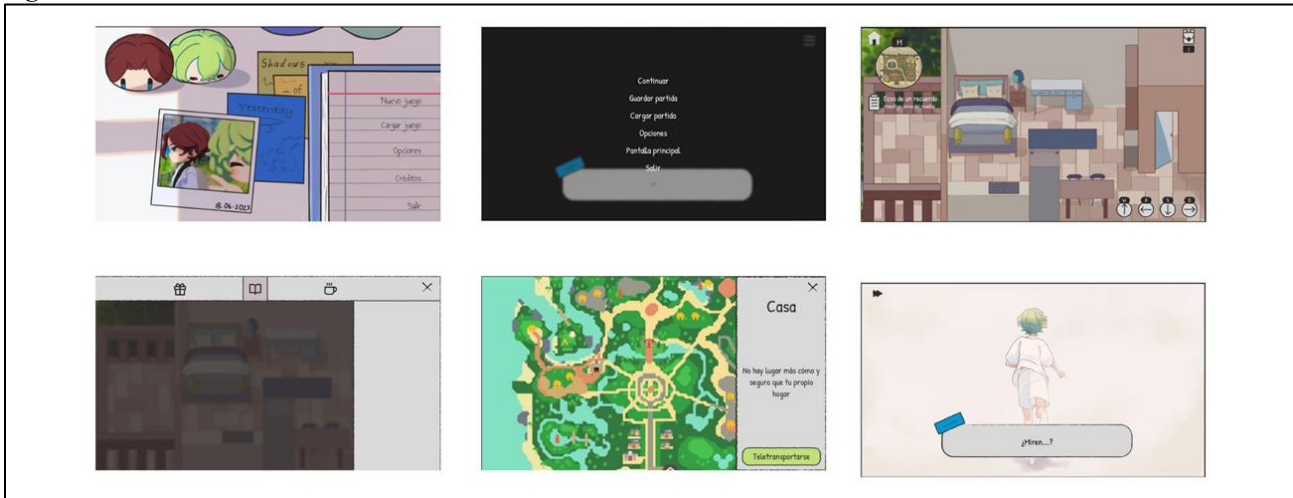
  

Fase	Acciones	Emociones	Necesidad	Puntos	Oportunidades de mejora
Descubrimiento	Se lo recomiendan en redes o en la tienda móvil	Curiosidad, ligera nostalgia	Ver si encaja con su rutina y ofrece experiencias breves	App Store, Play Store, TikTok, reels	Destacar "sesiones de 5 minutos" y "reflexión emocional rápida" en la descripción
Inicio de sesión	Elige "diario virtual" desde el menú principal	Calma, Interés	Acceder sin barreras a contenido significativo	Interfaz limpia, accesos rápidos	Reducir al mínimo la navegación y pantallas de carga
Interacción con diario	Lee entrada, mueve objetos táctiles, revela recuerdo	Nostalgia, introspección	Explorar emociones con mecánicas simples y responsivas	Minijuego táctil, UI de texto y sonido	Vibraciones suaves, música ambiental, animaciones envolventes
Compartir logro	Decide compartir una reflexión en red social	Validación, conexión	Expresar emociones sin exponerse demasiado	Botón de compartir, redes sociales	Ofrecer guardar de forma privada o compartir en grupos selectos o anónimos
Fin de sesión	Cierra app tras una entrada simbólica	Tranquilidad, satisfacción	Retomar la experiencia en cualquier momento	Guardado automático, pantalla de salida	Añadir una despedida reflexiva, como "Hoy avanzaste un poco más en tu viaje interno"

Nota: Fuente Propia

En la figura 9, se muestran algunas de las pantallas principales, Interfaz Gráfica de Usuario (GUI), de la Aplicación para la Asistencia en Procesos de Duelo, un videojuego que contribuye al bienestar emocional de las personas que cruzan algún proceso de duelo a través de una narrativa inmersiva.

Figura 12. Interfaz GUI



Los resultados coinciden con Norman (2013), quien destaca que el diseño centrado en el usuario mejora significativamente la experiencia, así como con Garrett (2010), quien resalta la importancia de la estructura y usabilidad en interfaces digitales.

## CONCLUSIÓN

El desarrollo del proyecto permitió la integración de metodologías de diseño centradas en el usuario, como Design Thinking, aportando a desarrollar tecnologías de asistencia con mayor sensibilidad hacia las necesidades emocionales de las personas en proceso de duelo. A través del análisis de usuarios, el diseño de prototipos UX/UI y la validación mediante pruebas de usabilidad, se evidenció que las herramientas digitales pueden convertirse en un apoyo significativo para la gestión emocional y la adaptación a la pérdida.

Cabe destacar la importancia de combinar conocimiento tecnológico con enfoques humanistas, promoviendo soluciones accesibles, empáticas y funcionales. Como parte de los resultados, se resalta la importancia de integrar tecnología y enfoque humanista en el desarrollo de software, des esta manera contribuir tanto al bienestar emocional como al desarrollo de tecnologías de asistencia.

Es evidente que la tecnología se ha convertido en una herramienta indispensable para el ser humano, por lo que es muy importante que se dé continuidad al proyecto para mejoras futuras, así como para integración total de herramientas de accesibilidad. Sin lugar a duda, la aplicación del diseño centrado en el usuario es una ventaja competitiva para el desarrollo de productos digitales como tecnologías de asistencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beristain, A. (2020). Tecnologías de asistencia y accesibilidad digital en la atención psicológica. *Revista Mexicana de Psicología*, 37(2), 112-130.
- Cahui O. V. (2022). Casos de Estudio de Design Thinking en las etapas de Análisis y Diseño del Desarrollo de Software. *Metodología Computacional* p. 19. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/6738/673870840002/673870840002.pdf> (p. 19) / (párr. 3)
- Garrett, J. J. (2010). **THE ELEMENTS OF USER EXPERIENCE: USER-CENTERED DESIGN FOR THE WEB AND BEYOND** (2nd ed.). New Riders.
- Jiménez, P. (2021). Aplicaciones móviles para el soporte emocional: Un enfoque UX/UI. *Revista Iberoamericana de Innovación Tecnológica*, 9(3), 89-105.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Pérez, D. (2023). Experiencia de usuario y accesibilidad en el diseño de aplicaciones de bienestar mental. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Uribe, B.R. (2021). *Design Thinking: Guía digital básica*. Recuperado de [https://www.ina.ac.cr/inavirtual/Documentos%20compartidos/Material\\_Apoyo/guiaDesignThinking.pdf](https://www.ina.ac.cr/inavirtual/Documentos%20compartidos/Material_Apoyo/guiaDesignThinking.pdf)

## REFERENCIAS

- Alonso, F., & Molina, M. (2021). *Diseño de experiencias de usuario en salud digital: Un enfoque centrado en la persona*. Editorial UOC.
- Díaz, R. (2023). Estrategias de accesibilidad en el desarrollo de software para la inclusión social. *Revista Latinoamericana de Tecnología*, 12(1), 55-72.
- Navarro, M. (2020). *Estrategias de gamificación en el diseño de aplicaciones de apoyo psicológico*. Editorial Pearson.
- Nielsen, J. (2012). *Usabilidad 101*. New Riders.
- Ramírez, E. (2018). *Evaluación de usabilidad en software de asistencia para la salud mental*. Congreso Latinoamericano de Interacción Humano-Computadora.

# ATLAS DE RIESGO COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES Y LA RESILIENCIA UNIVERSITARIA

Yenni Daniela Campos Samano<sup>1</sup>  
Marisol Resendiz Vega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Tula Tepeji, [yennidaniela.campos@utt.edu.mx](mailto:yennidaniela.campos@utt.edu.mx)

<sup>2</sup> Universidad TEcnologica de Tula Tepeji, [Marisol.resendiz@utt.edu.mx](mailto:Marisol.resendiz@utt.edu.mx)

## Línea de investigación: Seguridad y medio ambiente

### Resumen

La presente investigación tiene como propósito diseñar un Atlas de Riesgo integral para la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, con el objetivo de fortalecer la resiliencia institucional y mejorar la capacidad de respuesta ante fenómenos naturales y antropogénicos que afectan a la comunidad universitaria. La investigación surge a partir de la necesidad de identificar las zonas de mayor vulnerabilidad dentro de las instalaciones universitarias, debido a problemáticas relacionadas con inundaciones, deterioro de infraestructura, riesgos operacionales y falta de protocolos integrales de protección civil.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, integrando variables cuantitativas y cualitativas para el análisis de riesgos. Entre las variables cuantitativas consideradas se encuentran el porcentaje de superficie construida, el número de estudiantes y trabajadores, así como la frecuencia de simulacros y condiciones de infraestructura. Las variables cualitativas incluyeron el tipo de fenómeno, uso de suelo, accesibilidad y estado físico de las instalaciones.

La investigación se estructuró como un estudio de caso con enfoque de investigación-acción y Gestión Integral del Riesgo (GIR), permitiendo no solo el diagnóstico de vulnerabilidades, sino también la elaboración de estrategias preventivas y correctivas.

Asimismo, se realizó una revisión documental de normativas aplicables, tales como la Ley General de Protección Civil, el Atlas Nacional de Riesgos y diversas Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con seguridad e higiene.

Como resultado, se identificaron riesgos hidrometeorológicos, estructurales, operacionales y de seguridad pública que afectan la continuidad operativa de la universidad. El Atlas de Riesgo propuesto permitirá fortalecer la planeación institucional, optimizar la toma de decisiones y establecer medidas preventivas orientadas a la protección de estudiantes, docentes, personal administrativo e infraestructura crítica.

*Palabras clave: Protección civil, resiliencia institucional, riesgos universitarios, vulnerabilidad.*

### Abstract

The purpose of this research is to design a comprehensive Risk Atlas for the Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji in order to strengthen institutional resilience and improve response capacity against natural and anthropogenic phenomena affecting the university community. The research arises from the need to identify the most vulnerable areas within the university facilities due to flooding, infrastructure deterioration, operational risks, and the lack of comprehensive civil protection protocols.

The study was developed under a mixed methodological approach integrating quantitative and qualitative variables for risk analysis. Quantitative variables included the percentage of built surface, the number of students and administrative staff, as well as the frequency of drills and infrastructure conditions. Qualitative variables included type of phenomenon, land use, accessibility, and physical condition of facilities.

The research was structured as a case study with an action-research and Integrated Risk Management (IRM) approach, allowing not only the diagnosis of vulnerabilities but also the development of preventive and corrective strategies. In addition, a documentary review of applicable regulations was conducted, including the General Civil Protection Law, the National Risk Atlas, and several Mexican Official Standards related to safety and hygiene.

The results identified hydrometeorological, structural, operational, and public safety risks that affect the university's operational continuity. The proposed Risk Atlas will strengthen institutional planning, optimize decision-making processes, and establish preventive measures aimed at protecting students, teachers, administrative personnel, and critical infrastructure.

*Keywords: Institutional resilience, protection civil, university risks, vulnerability.*

## INTRODUCCIÓN

La gestión integral del riesgo constituye actualmente uno de los principales retos para las instituciones educativas, especialmente aquellas ubicadas en zonas con vulnerabilidad ambiental y alta exposición a fenómenos naturales y antropogénicos. La Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji se encuentra ubicada dentro de un corredor industrial caracterizado por la presencia de actividades químicas, petroquímicas y fenómenos hidrometeorológicos que representan riesgos constantes para la comunidad universitaria. En los últimos años, la región Tula-Tepeji ha experimentado eventos meteorológicos severos, particularmente inundaciones derivadas del desbordamiento del Río Tula, las cuales han impactado tanto a la infraestructura regional como a la población estudiantil. Asimismo, la expansión de la infraestructura universitaria ha modificado el flujo natural del agua, generando encharcamientos y afectaciones en edificios académicos y laboratorios.

Las instituciones de educación superior enfrentan actualmente un escenario de creciente complejidad en materia de riesgos, derivado de la intensificación de fenómenos hidrometeorológicos asociados al cambio climático, la expansión urbana desordenada, la cercanía a infraestructura industrial y energética, así como de problemáticas internas relacionadas con el deterioro de la infraestructura y la insuficiencia de prácticas preventivas (CENAPRED, 2019; Gobierno de México, 2013). En este contexto, las universidades no solo concentran una alta densidad de población, infraestructura crítica y recursos estratégicos, sino que también desempeñan un papel clave en la formación de capital humano y en la estabilidad social y económica de sus regiones, lo que las convierte en espacios altamente vulnerables y, al mismo tiempo, estratégicos para la gestión integral del riesgo (UNESCO, 2017).

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar un Atlas de Riesgo institucional que permita identificar, analizar y clasificar las zonas de vulnerabilidad dentro de la universidad, con la finalidad de establecer estrategias de mitigación, prevención y resiliencia institucional.

## DESARROLLO

El diseño de la investigación se sustentó en el enfoque de la Gestión Integral del Riesgo (GIR), el cual concibe el riesgo como el resultado de la interacción entre peligros, vulnerabilidad y exposición, y promueve una gestión preventiva, prospectiva y correctiva de los desastres. Asimismo, se incorporaron principios de la gestión de proyectos propuestos por el Project Management Institute, particularmente en las fases de planeación, ejecución, seguimiento y cierre, con el fin de estructurar metodológicamente el proceso de elaboración del Atlas de Riesgo.

Desde el punto de vista epistemológico, el estudio se enmarca en la investigación-acción, al buscar no solo diagnosticar una problemática institucional, sino también proponer soluciones prácticas orientadas a la mejora de la gestión del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia universitaria. Este enfoque permitió articular el análisis técnico del riesgo con la generación de insumos útiles para la toma de decisiones institucionales.

El desarrollo del proyecto se centró en la recopilación y análisis de información relacionada con riesgos naturales, operacionales y de infraestructura presentes dentro de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji. La investigación integró elementos de protección civil, gestión ambiental, análisis geoespacial y normatividad aplicable.

Se identificó que las principales amenazas corresponden a fenómenos hidrometeorológicos, particularmente inundaciones y escurrimientos pluviales, así como riesgos asociados al deterioro de infraestructura, manejo de sustancias químicas, seguridad laboral y riesgos operacionales.

La investigación también contempló el análisis de la resiliencia institucional, entendida como la capacidad de la universidad para anticipar, responder y recuperarse ante situaciones adversas, manteniendo la continuidad académica y administrativa.

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### Objetivo general

Diseñar un Atlas de Riesgo integral para la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji que contribuya al fortalecimiento de la resiliencia institucional.

### Objetivos específicos

- Revisar los protocolos y documentos existentes para conformar el Atlas de Riesgo.
- Identificar las zonas de riesgo de la universidad considerando las modificaciones recientes en infraestructura.
- Recopilar y analizar datos geoespaciales relevantes para el área de estudio.
- Desarrollar estrategias de mitigación y planes de acción basados en los riesgos identificados.
- Presentar propuestas preventivas para fortalecer la seguridad institucional.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación es la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji (UTTT), institución pública de educación superior ubicada en Avenida Universidad Tecnológica No. 1000, colonia El Carmen, municipio de Tula de Allende, Hidalgo, México, en las coordenadas geográficas 20.009370980801112 de latitud norte y -99.34278610439401 de longitud oeste.

La universidad constituye una de las instituciones educativas de mayor relevancia en la región, debido a su población estudiantil y a la diversidad de actividades académicas, administrativas y de servicios que se desarrollan en sus instalaciones. La comunidad universitaria está integrada por 7,393 personas, conformada por 6,833 estudiantes, 99 profesores de tiempo completo, 251 profesores por asignatura, 189 trabajadores administrativos y de apoyo, así como 21 personas encargadas de las labores de limpieza.

La infraestructura universitaria comprende edificios académicos y administrativos destinados a la impartición de clases y gestión institucional; laboratorios especializados de cómputo y química para el desarrollo de actividades prácticas y de investigación; talleres para la formación técnica; biblioteca; cafetería; centro de idiomas; instalaciones deportivas, incluyendo canchas para diversas disciplinas; y áreas de estacionamiento para estudiantes, personal y visitantes.

Las características de la población, la complejidad de la infraestructura y la diversidad de actividades que se realizan dentro del campus convierten a la UTTT en un espacio susceptible a la interacción de distintos factores de riesgo de origen natural, tecnológico y antrópico. Por ello, la institución representa un caso de estudio pertinente para el análisis de la gestión integral del riesgo y el diseño de estrategias orientadas al fortalecimiento de la resiliencia institucional y la protección de su comunidad universitaria.

## METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas, con el propósito de integrar el análisis técnico del riesgo con la interpretación institucional y organizacional de sus implicaciones para la toma de decisiones. Se adoptó un diseño de estudio de caso aplicado, orientado a la construcción y análisis de un Atlas de Riesgo universitario como instrumento estratégico de gestión, en una institución de educación superior ubicada en la Ciudad de Tula de Allende, Hidalgo.

En una primera etapa, se realizó la delimitación y caracterización del área de estudio, considerando la Universidad Tecnológica de Tula Tepeji y su entorno inmediato. Se llevó a cabo la identificación de los elementos físicos que conforman la institución, tales como edificios académicos, laboratorios, áreas administrativas y espacios recreativos, así como la caracterización de la población expuesta. Asimismo, se analizó el contexto externo, incluyendo infraestructura circundante, zonas industriales y vialidades que pudieran representar un factor de riesgo.

Posteriormente, se efectuó la identificación de peligros, entendidos como los fenómenos con potencial de causar daño. Para ello, se clasificaron en tres categorías: naturales, antrópicos y socio-organizativos. Esta etapa se apoyó en la revisión de fuentes documentales, registros históricos, así como en inspecciones de campo y entrevistas semiestructuradas a personal clave, lo que permitió obtener una visión integral de las amenazas existentes.

En la siguiente fase, se desarrolló el análisis de vulnerabilidad, evaluando la susceptibilidad de la institución ante los peligros identificados. Este análisis se abordó desde diversas dimensiones: física, social, funcional y económica. Se consideraron aspectos como las condiciones estructurales de la infraestructura, el nivel de capacitación de la comunidad universitaria en materia de protección civil, la capacidad de respuesta institucional y la disponibilidad de recursos.

De manera complementaria, se realizó el análisis de exposición, identificando los elementos potencialmente afectados, tales como la población universitaria, la infraestructura crítica, el equipamiento especializado y la información institucional. Este análisis permitió dimensionar el impacto potencial de los diferentes escenarios de riesgo.

La evaluación del riesgo se llevó a cabo mediante la integración de los componentes de peligro, vulnerabilidad y exposición, lo que permitió estimar el nivel de riesgo asociado a cada amenaza identificada. A partir de esta relación, se construyeron matrices de riesgo que facilitaron su clasificación en niveles (alto, medio y bajo), contribuyendo a la priorización de acciones.

Un elemento fundamental de la metodología fue el análisis geoespacial, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través de estas herramientas, se integraron diferentes capas de información para la elaboración de mapas temáticos, permitiendo la visualización de la distribución espacial de los riesgos dentro del área. Este proceso facilitó la identificación de zonas críticas y la generación de escenarios de riesgo.

Posteriormente, se llevó a cabo una fase de validación de resultados, en la que participaron actores clave como autoridades universitarias y personal con conocimiento en gestión de riesgos. Esta etapa permitió verificar la consistencia de la información y fortalecer la confiabilidad del análisis realizado.

## FASES DEL DESARROLLO

### Planeación y delimitación del área de estudio

Se definió el alcance del proyecto considerando las instalaciones universitarias y los factores de riesgo asociados al entorno industrial y ambiental.

### Revisión documental

Se analizaron documentos institucionales, normativas de protección civil y antecedentes relacionados con riesgos universitarios.

### Identificación de riesgos

Se identificaron riesgos climáticos, estructurales, químicos y operacionales presentes dentro de la universidad. En la tabla 1 se describen los riesgos naturales.

#### Tabla 1.

*Riesgos hidrometeorológicos del proyecto Atlas de Riesgo de la Universidad Tecnológica de Tula- Tepeji: Análisis de peligros, vulnerabilidad y estrategias de resiliencia institucional*

Peligro estimado	Descripción	Nivel de vulnerabilidad	Riesgo para la universidad
<b>Sequías</b>	Periodos prolongados de escasez de lluvia; afectan la disponibilidad de agua para uso institucional y mantenimiento de áreas verdes.	Alto	Disminución del suministro de agua, afectación a laboratorios y servicios sanitarios.
<b>Ondas cálidas y gélidas</b>	Temperaturas extremas que se presentan en temporadas de calor o invierno.	Medio	Riesgos a la salud de la comunidad universitaria, daños menores en infraestructura y sistemas eléctricos.
<b>Heladas</b>	Comunes en temporada invernal.	Bajo	Daños a vegetación y estructuras metálicas expuestas.
<b>Tormentas eléctricas y granizo</b>	Fenómenos recurrentes en verano y otoño.	Medio	Riesgos por descargas eléctricas, daños a equipos electrónicos, vidrios y techos.
<b>Inundaciones pluviales y fluviales</b>	Asociadas a lluvias intensas y a la cercanía del río Tula y sus afluentes.	Alto	Anegamientos en vialidades de acceso, afectación a edificios bajos, interrupción de actividades.
<b>Vientos fuertes</b>	Rachas provocadas por frentes fríos o tormentas.	Medio	Caída de árboles o anuncios, afectación a cubiertas ligeras.

*Nota: Elaboración propia*

La Tabla 1 presenta los principales riesgos hidrometeorológicos identificados para la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, así como su nivel de vulnerabilidad y las posibles afectaciones que podrían generar sobre la comunidad universitaria y la infraestructura institucional. Los resultados muestran que la universidad está expuesta a diversos fenómenos climáticos y meteorológicos cuya magnitud e impacto varían según sus características y frecuencia de ocurrencia.

Entre los riesgos analizados, las sequías y las inundaciones pluviales y fluviales presentan un nivel de vulnerabilidad alto, lo que las convierte en las amenazas hidrometeorológicas de mayor relevancia para la institución. Las sequías pueden provocar una disminución significativa en la disponibilidad de agua para actividades académicas, administrativas y de mantenimiento de áreas verdes, afectando el funcionamiento cotidiano del campus. Por su parte, las inundaciones representan un riesgo considerable debido a la intensidad de las lluvias y a la cercanía del río Tula, pudiendo ocasionar anegamientos en vialidades, daños a edificios y la interrupción temporal de las actividades universitarias.

Las ondas cálidas y gélidas, las tormentas eléctricas con granizo y los vientos fuertes fueron clasificadas con una vulnerabilidad media. Estos fenómenos pueden afectar tanto a las personas como a la infraestructura. Las temperaturas extremas representan un riesgo para la salud de estudiantes y trabajadores, mientras que las tormentas eléctricas pueden ocasionar daños en equipos electrónicos, vidrios y cubiertas. De igual manera, los vientos fuertes pueden provocar la caída de árboles, anuncios o estructuras ligeras, generando situaciones de riesgo para la comunidad universitaria.

En contraste, las heladas presentan una vulnerabilidad baja, ya que sus efectos suelen limitarse a daños en la vegetación y en algunos elementos metálicos expuestos. Aunque su impacto es menor en comparación con otros fenómenos, es importante considerar medidas preventivas para reducir posibles afectaciones en áreas verdes y equipamiento exterior.

De manera general, los resultados evidencian que los fenómenos relacionados con la disponibilidad de agua y los eventos de precipitación extrema constituyen las principales amenazas hidrometeorológicas para la universidad. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión del riesgo orientadas al uso eficiente del agua, el mejoramiento de los sistemas de drenaje pluvial, el monitoreo de fenómenos meteorológicos y el fortalecimiento de los protocolos de respuesta ante emergencias. Estas acciones contribuirán a reducir la vulnerabilidad institucional y a incrementar la resiliencia de la comunidad universitaria frente a eventos hidrometeorológicos adversos.

En la tabla 2 se describen los riesgos de origen geológico.

**Tabla 2.**

*Fenómenos geológicos del proyecto Atlas de Riesgo de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji: Análisis de peligros, vulnerabilidad y estrategias de resiliencia institucional*

<b>Peligros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel estimado</b>	<b>Riesgo para la universidad</b>
<b>Sismos</b>	El municipio presenta sismicidad baja a moderada, sin fallas activas cercanas.	Muy bajo	Vibraciones menores; verificar cumplimiento de normas de construcción.
<b>Inestabilidad de laderas / movimientos en masa</b>	Asociados a lluvias intensas y cortes de terreno.	Bajo	Posible erosión en taludes cercanos o vialidades perimetrales.
<b>Erosión hídrica y eólica</b>	Por lluvias o vientos intensos; frecuentes en suelos expuestos.	Bajo a medio	Afectación al suelo y áreas verdes; pérdida de capa fértil.
<b>Vulcanismo</b>	No existen volcanes activos cercanos, aunque puede haber deposición de ceniza lejana.	Muy bajo	Efectos mínimos.

*Nota: Elaboración propia*

Los resultados presentados en la tabla indican que la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji se encuentra en una zona donde los peligros geológicos evaluados presentan, en general, niveles de riesgo bajos o muy bajos. Sin embargo, algunos de ellos requieren atención debido a sus posibles efectos sobre la infraestructura y el entorno universitario.

El peligro asociado a los sismos fue clasificado con un nivel muy bajo, debido a que el municipio presenta una sismicidad de baja a moderada y no se localizan fallas geológicas activas cercanas. Aun cuando la probabilidad de afectaciones severas es reducida, es necesario verificar periódicamente el cumplimiento de las normas de construcción y las condiciones estructurales de los edificios para garantizar la seguridad de la comunidad universitaria.

Respecto a la inestabilidad de laderas y movimientos en masa, el nivel de riesgo se considera bajo, ya que estos fenómenos podrían presentarse principalmente durante eventos de lluvias intensas. Las afectaciones potenciales se relacionan con procesos de erosión o deslizamientos localizados en taludes, caminos o áreas perimetrales del campus, por lo que se recomienda mantener una vigilancia continua de estas zonas y realizar labores preventivas de estabilización cuando sea necesario.

La erosión hídrica y eólica representa el peligro geológico con mayor relevancia relativa dentro de los analizados, al presentar un nivel de riesgo de bajo a medio. Este fenómeno puede afectar las áreas verdes y los suelos expuestos de la universidad mediante la pérdida de la capa fértil, disminuyendo la calidad del terreno y favoreciendo procesos de degradación ambiental. Su presencia está asociada principalmente a lluvias intensas y a la acción del viento, por lo que es recomendable implementar medidas de conservación de suelos y cobertura vegetal.

Por otra parte, el vulcanismo presenta un nivel de riesgo muy bajo, debido a la ausencia de volcanes activos en las inmediaciones de la universidad. Las posibles afectaciones se limitarían a la deposición ocasional de ceniza proveniente de eventos eruptivos distantes, lo que tendría efectos mínimos sobre las actividades académicas y administrativas.

En conjunto, los resultados muestran que la UTTT no se encuentra expuesta a amenazas geológicas de alta magnitud; sin embargo, la erosión del suelo y la posible inestabilidad de taludes constituyen los aspectos que requieren mayor atención dentro de la gestión integral del riesgo. La implementación de medidas preventivas y el monitoreo periódico de las condiciones del terreno contribuirán a reducir la vulnerabilidad institucional y fortalecer la resiliencia del campus universitario.

En la tabla 3 se muestran los factores que los entrevistados identifican que afectan directamente a la cultura de seguridad y protección civil en los estudiantes, profesores y administrativos, parte de lo que comentaron en las entrevistas es algo que ya se planteaba desde el cómo se seleccionó al personal, que es que las personas con perfil de humanidades que no tienen temas de seguridad industrial e incluso seguridad básica, no dimensiona que es todo lo que implica el poder realizar simulacros o actividades de seguridad con la suficiente conciencia, aunado a esto, también mencionan que las instalaciones de la universidad en un principio fueron pensadas para las necesidades de ese tiempo, no fueron pensadas a futuro, actualmente se han realizado construcciones y modificaciones en edificios conforme se van ocupando, pero realmente no son pensadas en el crecimiento y proyección que ha alcanzado. Al mismo tiempo también de identifica que el número de alumnos en aulas ha sido rebasado lo que provoca riesgos sanitarios e incluso de seguridad tanto para las instalaciones como para la comunidad educativa. Con todos estos aspectos considerados causas raíz se identifican diversos factores que se deben de tomar en cuenta con las condiciones actuales de la universidad.

**Tabla 3.**

*Factores que afectan a la seguridad y Protección Civil*

Factores que afectan directamente a la seguridad y protección civil	Número de personas
Falta de capacitación	6
Falta de interés	6
Poca conciencia	5
Apatía de los alumnos	5
Falta de escenarios reales	3
Falta de conciencia sobre seguridad	4
Falta de responsabilidad por parte de los maestros	5

*Nota: elaboración propia*

La gráfica muestra en la figura 1, representa la frecuencia con la que los participantes identificaron diversos factores que limitan el fortalecimiento de la seguridad y la protección civil dentro de la universidad. Los resultados permiten observar que los principales problemas se relacionan con aspectos de capacitación, participación y cultura preventiva de la comunidad universitaria.

Los factores con mayor incidencia son la falta de capacitación y la falta de interés, ambos con seis menciones, lo que indica que la insuficiente formación en temas de protección civil y la escasa disposición para involucrarse en actividades preventivas son las principales barreras para el desarrollo de una gestión efectiva del riesgo. Este resultado evidencia la necesidad de fortalecer los programas de capacitación y promover una mayor participación de todos los integrantes de la comunidad universitaria.

En un segundo nivel se encuentran la poca conciencia sobre los riesgos, la apatía de los alumnos y la falta de responsabilidad por parte de los maestros, con cinco menciones cada uno. Estos factores reflejan que existe una percepción de compromiso limitado por parte de algunos sectores de la comunidad universitaria, lo que dificulta la consolidación de una cultura de prevención y respuesta ante emergencias.

Por otra parte, la falta de conciencia sobre seguridad obtuvo cuatro menciones, lo que sugiere que aún existen áreas de oportunidad para sensibilizar a estudiantes, docentes y personal administrativo sobre la importancia de adoptar conductas seguras y participar activamente en acciones de protección civil.

Finalmente, la falta de escenarios reales para la práctica de emergencias fue el factor menos mencionado, con tres registros. Aunque presenta una menor frecuencia, este resultado indica la conveniencia de incrementar la realización de simulacros, ejercicios prácticos y actividades experienciales que permitan a la comunidad desarrollar habilidades para responder adecuadamente ante situaciones de riesgo.

En términos generales, la gráfica evidencia que los principales desafíos para la seguridad y protección civil en la universidad están asociados a factores humanos y organizacionales más que a cuestiones técnicas o de infraestructura. Por ello, las estrategias institucionales deben enfocarse en fortalecer la capacitación continua, fomentar la participación activa de estudiantes y docentes, e impulsar una cultura de prevención que contribuya a mejorar la resiliencia y la capacidad de respuesta ante emergencias.

**Figura 1.** Gráfica de los factores que afectan directamente a la seguridad y protección civil en la universidad



*Nota: elaboración propia*

### **Evaluación de vulnerabilidad**

Se evaluaron las condiciones físicas de la infraestructura y la capacidad institucional de respuesta ante emergencias. La evaluación del riesgo se realizó mediante la aplicación de la fórmula clásica utilizada en estudios de gestión de riesgos, de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \quad \text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \quad \text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

En la tabla 4 se muestran los riesgos y su nivel una vez aplicada la fórmula anterior.

**Tabla 4**  
*Evaluación del riesgo identificado en los diferentes componentes*

Componente	Peligros principales	Peligro (P)	Vulnerabilidad (V)			Riesgo (P×V)	Nivel de riesgo	Justificación
Población universitaria	Inundaciones, contaminación del aire, eventos químicos	3	4			12	MEDIO - ALTO	Alta exposición humana a contaminantes y riesgo químico- industrial (refinería y transporte de carga).
Infraestructura física	Inundaciones, erosión, fallas eléctricas, vientos fuertes	2	4	8		MEDIO	Riesgos estructurales y deterioro por lluvias intensas; zonas de anegamiento documentadas en el campus.	
Equipamiento (laboratorios, TI)	Fugas químicas, incendios, descargas eléctricas	4	4	16		ALTO	Equipos de alto valor y fragilidad ante eventos químicos o eléctricos; resiliencia limitada.	
Servicios básicos (agua, energía, drenaje)	Sequías, fallas eléctricas, contaminación de agua	3	4	12		MEDIO - ALTO	Servicios dependientes del sistema municipal con antecedentes de interrupciones.	
Recursos académicos	Suspensión de clases por desastre, pérdida de materiales	2	3	6		MEDIO -BAJO	Actividades académicas afectadas temporalmente, pero con recuperación posible.	
Recursos administrativos	Fallas en sistemas, cortes eléctricos, aislamiento	2	3	6		MEDIO - BAJO	Impacto moderado; pueden operar con respaldo digital y trabajo remoto.	
Entorno ambiental	Inundaciones, erosión, contaminación	4	4	16		ALTO	Cambios de escurrimientos y degradación del suelo; pérdida de vegetación protectora.	

*Nota: elaboración propia*

En conjunto, la tabla permite identificar prioridades para la gestión de riesgos institucional, destacando la necesidad de reforzar la resiliencia física, tecnológica y ambiental del campus, así como de garantizar la seguridad de la comunidad universitaria y la continuidad de las actividades académicas y administrativas.

## **Elaboración del Atlas**

Se integró la información recopilada en mapas y matrices de riesgo para facilitar la toma de decisiones institucionales; sin embargo, es de considerarse que es necesario realizar actualización del análisis y matrices, al menos dos veces al año; ya que, las condiciones de la universidad y su entorno, cambia constantemente, primeramente a la cantidad de personas a las que alberga, segundo, debido a la estacionalidad, es decir, la variación climática y por otra parte, al deterioro y envejecimiento de la instalaciones.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados reflejan que la universidad presenta vulnerabilidades internas de carácter administrativo, operativo y preventivo, las cuales incrementan el nivel de riesgo ante cualquier evento perturbador, ya sea de origen natural o antrópico. Se observó que algunas áreas académicas y laboratorios presentan afectaciones recurrentes durante temporadas de lluvia, comprometiendo la seguridad de estudiantes y personal.

Asimismo, se detectó la necesidad de fortalecer los protocolos institucionales de protección civil, actualizar señalización y establecer programas permanentes de capacitación y simulacros. La implementación del Atlas de Riesgo permitirá mejorar la planeación preventiva, fortalecer la resiliencia institucional y optimizar la respuesta ante contingencias.

El objetivo general del proyecto, consistente en diseñar un Atlas de Riesgo integral para la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji que contribuya al fortalecimiento de la resiliencia institucional, presenta un cumplimiento estimado del 70%.

Este nivel de avance se sustenta en que, si bien se logró realizar la identificación de riesgos, el análisis del entorno y la elaboración de mapas temáticos preliminares, no se contó con acceso total a la información actualizada de la universidad, particularmente en lo referente a planos oficiales, reportes técnicos históricos, dictámenes estructurales, informes de Protección Civil, inventarios de infraestructura y bases de datos institucionales. Las causas específicas de esta limitación no fueron precisadas por la institución, sin embargo, dicha situación representó un obstáculo importante en el desarrollo integral del Atlas.

La revisión de la información y el desarrollo del proyecto reveló que no existe un sistema institucional unificado que concentre, resguarde o actualice de manera sistemática dicha documentación. La consulta de varios de estos archivos fue compleja, pues se percibe institucionalmente que constituyen información confidencial, lo que restringe su disponibilidad incluso para fines de planeación preventiva. Este hecho pone de manifiesto la ausencia de mecanismos claros de transparencia interna y la necesidad de establecer procedimientos que definan qué información debe ser accesible para garantizar la seguridad y el cumplimiento normativo. Asimismo, se observó que las acciones institucionales vinculadas con la seguridad se encuentran fragmentadas entre diversas áreas, lo que se traduce en una gestión reactiva. El Comité de Protección Civil, por ejemplo, centra la mayor parte de sus esfuerzos en la atención de emergencias, sin un enfoque consolidado hacia la prevención, la planificación integral del riesgo o la toma de decisiones basada en información actualizada. En este sentido, aunque los estudiantes cuentan con seguro de vida y están afiliados al IMSS, y el personal docente y administrativo dispone de servicios del ISSSTE, estos mecanismos son de carácter compensatorio y no sustituyen la necesidad de un enfoque preventivo y de gestión integral del riesgo.

Adicionalmente, para alcanzar el cumplimiento total del objetivo general, es necesaria la implementación de una plataforma digital institucional que permita a la comunidad universitaria consultar los mapas de riesgo, fichas técnicas y recomendaciones de prevención. Esta herramienta no pudo desarrollarse completamente dentro del alcance del proyecto debido a limitaciones administrativas y técnicas, por lo que se considera un trabajo complementario para una fase posterior.

El objetivo referente a identificar las zonas de riesgo de la universidad considerando las modificaciones más recientes se considera cumplido en su totalidad. Con base en recorridos de campo, análisis espacial, observación directa y revisión de información geográfica, se logró delimitar áreas vulnerables dentro de la universidad.

El objetivo relacionado con recopilar datos geospaciales relevantes para el área de influencia de la universidad y analizar al menos el 70% de la información se considera cumplido.

Respecto al objetivo de desarrollar estrategias de mitigación y planes de acción, se determina que los riesgos fueron identificados y diagnosticados, pero los planes no fueron desarrollados en su totalidad. Esta limitación responde a que el diseño de estrategias requiere un proceso de socialización con directivos, autoridades de protección civil universitaria y áreas responsables de infraestructura. Dichas reuniones no se llevaron a cabo dentro del periodo del proyecto, motivo por el cual los planes quedaron planteados únicamente de forma conceptual.

No obstante, la identificación técnica de riesgos representa un insumo fundamental que permitirá que, en una segunda etapa, se diseñen acciones específicas, rutas de implementación y asignación de responsabilidades.

El análisis de resultados del proyecto permitió integrar información técnica, normativa, operativa y financiera, proporcionando una visión integral sobre el estado actual de la gestión del riesgo en la institución y las posibilidades reales de implementación del proyecto.

Desde el punto de vista técnico, los resultados obtenidos a partir de los recorridos de campo, entrevistas, matrices de riesgo y evaluación de vulnerabilidad evidencian la presencia de factores de riesgo relevantes tanto de origen natural como antrópico. Entre los principales hallazgos se identificaron deficiencias en mantenimiento, ausencia de una estructura formal de protección civil, falta de protocolos operativos, escasa comunicación institucional sobre riesgos y una cultura preventiva limitada entre la comunidad universitaria. Estos resultados coinciden con lo reportado por el personal entrevistado y refuerzan la necesidad de contar con un instrumento formal como el Atlas de Riesgos para la planeación preventiva.

Adicionalmente, se incorporó un análisis financiero como parte de la discusión de resultados, con el objetivo de evaluar la viabilidad económica del proyecto. Para ello, se solicitó una cotización a una empresa externa especializada en estudios de gestión de riesgos y protección civil, obteniéndose un costo de \$17,240.00 pesos mexicanos para la elaboración del análisis técnico equivalente al desarrollado en este proyecto. Este dato permitió establecer un punto de referencia para contrastar la inversión necesaria frente a los beneficios institucionales esperados.

Posteriormente, se realizó una proyección de costos considerando que el proyecto fuera desarrollado internamente por la universidad, sin incluir costos asociados a licencias de software especializado ni dictámenes emitidos por dependencias de protección civil municipal o estatal. Los resultados obtenidos indican que los costos estimados son similares a los presentados por la empresa externa, lo que demuestra que la ejecución interna no representa una desventaja económica y, por el contrario, permite fortalecer las capacidades institucionales.

Desde una perspectiva costo-beneficio, el proyecto se considera viable y pertinente, ya que la inversión requerida resulta baja en comparación con los posibles impactos económicos, sociales y humanos derivados de la falta de prevención de riesgos. La implementación del Atlas de Riesgos permitiría reducir pérdidas materiales, minimizar afectaciones a la comunidad universitaria y fortalecer la capacidad de respuesta ante emergencias, lo que representa una ventaja estratégica para la institución.

## CONCLUSIÓN

El desarrollo del Atlas de Riesgo para la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji representa una herramienta estratégica para la gestión integral del riesgo y la protección de la comunidad universitaria.

La investigación permitió identificar vulnerabilidades relacionadas con fenómenos naturales y riesgos operacionales que afectan la seguridad institucional. Asimismo, se comprobó la importancia de integrar metodologías de análisis de riesgos, normatividad vigente y estrategias de resiliencia para fortalecer la capacidad de respuesta ante emergencias.

El Atlas de Riesgo propuesto contribuirá a mejorar la toma de decisiones, reducir riesgos y promover una cultura de prevención dentro de la universidad, favoreciendo la continuidad académica y administrativa.

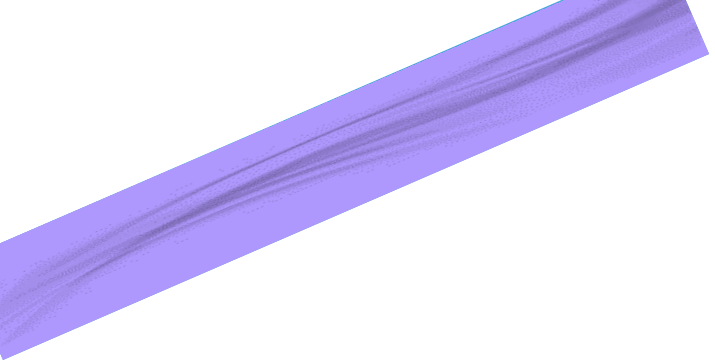
Uno de los hallazgos más relevantes del estudio fue la posibilidad de vincular los resultados del Atlas de Riesgo con decisiones institucionales concretas. En el ámbito de la planeación de infraestructura, el Atlas permitió identificar zonas no aptas para nuevas construcciones, así como áreas que requieren obras de mitigación, como sistemas de drenaje pluvial y reforzamiento estructural. En materia de mantenimiento preventivo, los resultados facilitaron la priorización de intervenciones en edificios y servicios básicos, orientadas a reducir la vulnerabilidad física y operativa del campus.

En relación con la protección civil, el Atlas sirvió como insumo para la actualización de protocolos de emergencia, la definición de rutas de evacuación, la ubicación de puntos de reunión y la planificación de simulacros, contribuyendo a una gestión más estructurada y preventiva del riesgo.

Finalmente, en la integración del documento final, se estructuró con mapas, diagnóstico y propuestas de mitigación, lo cual permite la asignación de recursos, proyectos de inversión en función del nivel de riesgo y del impacto potencial en la comunidad universitaria, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia técnica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayuntamiento de Toluca. (2024). Atlas de Riesgos – Ayuntamientos de Toluca (versión 2024).
- UTTT. (2020). Programa Institucional de Desarrollo de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji 2020-2022.
- Gob.mx. (2024). Informe Jornada Estatal contra el Cambio Climático: Hidalgo.
- Referencia Contexto Ambiental (Atotonilco). (Se cita el contexto regional de alta industrialización en el documento Atotonilco-De-Tula-Programa-Ambiental-2005-2009).
- SEMARNATH. (2024). Diagnóstico del municipio de Tepeji del Río de Ocampo.
- López Acosta, Sandra, & Nolasco Arizmendi, Víctor Alfredo. (2016). Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 9(17), 66-75. Epub 28 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58153>
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*.
- CENAPRED. (2019). *Guía básica para la elaboración de Atlas de Riesgos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Gobierno de México. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*.



# CONTAMINACIÓN TECNOLÓGICA EN EL ÁMBITO ESTUDIANTIL

Pedro Alberto Hernández López<sup>1</sup>, Julián Javier Francisco León<sup>2</sup>

<sup>1</sup> División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información de la UJAT, e-mail: [212H17169@alumno.ujat.mx](mailto:212H17169@alumno.ujat.mx)

<sup>2</sup> División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información de la UJAT, e-mail: [julian.francisco@ujat.mx](mailto:julian.francisco@ujat.mx)

**Línea de investigación: Impacto ambiental de las tecnologías de la información en el sector estudiantil.**

## RESUMEN

Este artículo plantea un caso de estudio hipotético sobre el impacto ambiental indirecto asociado al uso de la tecnología en el ámbito estudiantil, con especial atención a la posible huella de carbono digital que podría generarse durante la trayectoria académica de un estudiante, desde su ingreso al primer semestre hasta la conclusión de su licenciatura. A partir de un modelo de estimación, se considera el consumo de energía eléctrica derivado del funcionamiento continuo de equipos tecnológicos, tales como servidores, conmutadores, computadoras, monitores, proyectores y otros dispositivos electrónicos utilizados en actividades académicas.

Si bien la creciente digitalización de los procesos educativos ha contribuido significativamente a mejorar la enseñanza, el aprendizaje y la gestión académica, también puede incrementar la demanda energética cuando existe un uso intensivo y prolongado de infraestructura tecnológica. En este sentido, el presente caso hipotético permite reflexionar sobre las posibles consecuencias ambientales asociadas al consumo eléctrico indirecto en contextos educativos relacionados con áreas tecnológicas.

Las instituciones educativas, especialmente aquellas enfocadas en carreras vinculadas con las tecnologías de la información, suelen depender de sistemas informáticos y equipos que permanecen encendidos durante largos periodos para realizar prácticas, investigaciones o mantener plataformas virtuales. Bajo este escenario, el uso prolongado de dichos recursos podría contribuir al aumento de la huella de carbono digital. Asimismo, los servidores que almacenan información académica y proyectos estudiantiles pueden requerir sistemas de enfriamiento permanentes, lo que implicaría un consumo adicional de electricidad y un mayor uso de recursos energéticos.

Metodológicamente, se adopta un enfoque cualitativo y descriptivo, con diseño no experimental y observación documental de registros bimestrales de consumo eléctrico del autor. Los datos se organizan mediante una lista de cotejo que considera dispositivos, potencia aproximada y horas de uso. Las estimaciones de consumo y emisiones se emplean como apoyo interpretativo, y cualquier proyección hacia una generación se entiende solo como un escenario comparativo sujeto a variaciones en equipos, hábitos y condiciones domésticas. *Palabras clave: Contaminación tecnológica, Consumo energético, Huella de carbono, Impacto ambiental, Uso estudiantil de la tecnología.*

## ABSTRACT

This article presents a hypothetical case study on the indirect environmental impact associated with the use of technology in the student environment, with particular attention to the possible digital carbon footprint that could be generated throughout a student's academic path, from the first semester to the completion of a bachelor's degree. Based on an estimation model, the study considers the electricity consumption derived from the continuous operation of technological equipment, such as servers, switches, computers, monitors, projectors, and other electronic devices used in academic activities.

Although the increasing digitalization of educational processes has significantly contributed to improving teaching, learning, and academic management, it may also increase energy demand when technological infrastructure is used intensively and for prolonged periods. In this regard, the proposed hypothetical case makes it possible to reflect on the potential environmental consequences associated with indirect electricity consumption in educational contexts related to technological fields.

Educational institutions, especially those focused on information technology programs, often rely on computer systems and equipment that remain on for long periods to support practices, research activities, or virtual platforms. Under this scenario, the prolonged use of these resources could contribute to an increase in the digital carbon footprint. Likewise, servers that store academic information and student projects may require permanent cooling systems, which would imply additional electricity consumption and greater use of energy resources.

Methodologically, the study adopts a qualitative and descriptive approach, with a non-experimental design and documentary observation of the author's bimonthly electricity-consumption records. Data are organized through a checklist that considers devices, approximate power ratings, and hours of use. Consumption and emission estimates are used as interpretive support, and any projection toward a student cohort is understood only as a comparative scenario subject to variations in equipment, habits, and household conditions.

*Keywords: Carbon footprint, Energy consumption, Environmental impact, Student use of technology, Technological pollution.*

## *INTRODUCCIÓN*

La utilización de la tecnología informática se ha convertido en un componente indispensable del desarrollo académico de los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Sin embargo, esta dependencia puede implicar un costo ambiental indirecto que en muchas ocasiones se pasa por alto: el consumo constante de energía eléctrica asociado al funcionamiento de equipos tecnológicos. Cada computadora, servidor o dispositivo conectado requiere energía para operar y, en conjunto, puede contribuir a la huella de carbono digital del entorno académico.

La huella de carbono se define como un indicador ambiental que refleja la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), expresada como CO<sub>2</sub> equivalente, emitida directa o indirectamente como consecuencia de una actividad determinada (Repsol, 2025). A partir de esta idea, en el presente trabajo se emplea el concepto de huella de carbono digital para referirse al posible impacto ambiental indirecto vinculado con el uso de dispositivos, infraestructura tecnológica y consumo eléctrico en actividades estudiantiles.

El propósito de este estudio es describir un caso hipotético que permita aproximar la posible relación entre el uso académico de tecnología y el consumo energético durante la formación profesional en Ingeniería en Sistemas Computacionales. Asimismo, se busca identificar los equipos y procesos que podrían tener mayor influencia en este escenario, así como reflexionar sobre la responsabilidad ambiental del entorno educativo actual sin plantear generalizaciones absolutas hacia toda la población estudiantil.

## *DESARROLLO*

### *OBJETIVO GENERAL*

Examinar el posible impacto ambiental indirecto asociado al uso de tecnología en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, desde el ingreso de un estudiante al primer semestre hasta la finalización de su carrera, con el fin de identificar factores relacionados con el consumo de energía y el uso continuo de equipos tecnológicos dentro de un caso de estudio hipotético.

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- Identificar los equipos tecnológicos considerados con mayor frecuencia en el escenario académico analizado.
- Describir los equipos y procesos tecnológicos que podrían influir en el incremento de la huella de carbono digital dentro del caso de estudio.
- Analizar la relación entre la dependencia tecnológica en actividades académicas y el posible impacto ambiental indirecto asociado al consumo eléctrico.
- Describir el procedimiento de estimación utilizado para aproximar la huella de carbono digital derivada del uso de tecnologías en el ámbito estudiantil.

### *OBJETO DE ESTUDIO*

El objeto de estudio se centra en el posible impacto ambiental indirecto derivado del uso de equipos y procesos tecnológicos en actividades académicas de un estudiante universitario de Ingeniería en Sistemas Computacionales. De manera específica, se considera el consumo eléctrico asociado al funcionamiento de dispositivos como computadora de escritorio, laptop, monitor, router, teléfono celular, regulador de energía, aire acondicionado y otros recursos utilizados en el contexto de formación académica.

### *METODOLOGÍA*

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, mediante el planteamiento de un caso de estudio hipotético orientado a analizar el posible impacto ambiental indirecto asociado al uso de tecnología en el ámbito estudiantil. El enfoque cualitativo permite interpretar el fenómeno desde una perspectiva contextual, considerando los hábitos de uso tecnológico, la dependencia de dispositivos electrónicos y su relación con el consumo de energía eléctrica durante la formación académica de un estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Asimismo, la investigación es descriptiva porque busca caracterizar los principales elementos que intervienen en el consumo energético asociado a las actividades académicas, tales como el uso de computadora de escritorio, laptop, monitor, router, teléfono celular, regulador de energía y aire acondicionado. A partir de esta descripción, se construye un escenario de referencia que permite aproximar la posible relación entre el uso cotidiano de tecnología y la huella de carbono digital en el contexto estudiantil.

El diseño metodológico es no experimental, debido a que no se manipulan variables ni se modifican las condiciones naturales del caso analizado. La información se examina a partir de registros existentes y de la observación del uso habitual de equipos tecnológicos, por lo que el estudio se limita a describir e interpretar un escenario determinado sin intervenir directamente en los patrones de consumo eléctrico.

La selección del caso se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, tomando como referencia al propio autor del estudio debido a la disponibilidad directa de información relacionada con el uso de dispositivos tecnológicos, hábitos académicos y registros bimestrales de consumo eléctrico. Los datos utilizados provienen de la experiencia y registros personales del autor, por lo que el caso permite construir un escenario descriptivo basado en información accesible, verificable y organizada para fines académicos.

Entre los criterios considerados para la selección del caso se encuentran el acceso a recibos de energía eléctrica, la identificación de equipos utilizados en actividades académicas, la estimación de horas de uso diario y la posibilidad de relacionar dichos elementos con un escenario de consumo energético estudiantil. Debido a estas características, el análisis se orienta a la descripción de un caso particular y no a la generalización estadística hacia la totalidad de estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Para la recolección de información se empleó la técnica de observación documental, utilizando como instrumento una lista de cotejo. Esta permitió organizar los datos relacionados con los dispositivos tecnológicos utilizados por el autor, su consumo aproximado en vatios, las horas estimadas de uso diario, los periodos de facturación eléctrica y el consumo total registrado en los recibos. De esta manera, la información fue sistematizada para construir una aproximación descriptiva del posible consumo energético asociado al uso académico de tecnología.

La técnica de análisis aplicada fue cualitativa-descriptiva, apoyada en estimaciones de consumo energético y conversión aproximada a emisiones de CO<sub>2</sub>. Estos cálculos se utilizaron como recurso complementario para interpretar el escenario planteado y vincular los datos observados con los objetivos del estudio. De esta manera, el análisis permite describir la posible relación entre el uso académico de tecnología, el consumo eléctrico y la huella de carbono digital, sin establecer valores absolutos aplicables a toda la población estudiantil.

### ALCANCE DEL CASO DE ESTUDIO

El alcance del trabajo se delimita a un caso de estudio hipotético construido con información disponible del autor, relacionada con el uso de dispositivos tecnológicos y los registros bimestrales de consumo eléctrico del hogar. Por ello, los resultados se interpretan como una aproximación descriptiva del posible impacto ambiental indirecto asociado al uso académico de tecnología, y no como una medición representativa de todos los estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

La proyección hacia una generación de estudiantes se plantea únicamente como un escenario comparativo. Su propósito es dimensionar de manera referencial cómo podría incrementarse la huella de carbono digital si un patrón de uso tecnológico similar se repitiera en un grupo mayor. Se reconoce que cada estudiante puede presentar diferencias en equipos utilizados, horas de uso, condiciones del hogar, acceso a climatización, hábitos académicos y consumo eléctrico. En consecuencia, las estimaciones generacionales se emplean como apoyo para la reflexión ambiental y no como generalización estadística.

## FASES DEL DESARROLLO

### FASE 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó una revisión documental sobre contaminación tecnológica, consumo energético y huella de carbono tradicional y digital. La contaminación tecnológica se entiende como el impacto ambiental derivado del uso, desecho y mantenimiento de dispositivos electrónicos, así como de la infraestructura digital que sostiene el funcionamiento de Internet, servidores, centros de datos y equipos de tecnologías de la información y comunicación (TIC).



Figura 1. Cuánto se Puede Llegar a Contaminar

*Fuente: Iberdrola (s. f.), editado por el autor.*

De acuerdo con los análisis presentados por la plataforma Website Carbon, cada sitio web puede generar una cantidad específica de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cada vez que se carga una página. Este impacto proviene principalmente del consumo eléctrico de servidores, centros de datos, redes de telecomunicaciones y dispositivos del usuario final. Según sus estimaciones, una página web promedio puede emitir entre 0.3 y 4 gramos de CO<sub>2</sub> por visita, dependiendo de su diseño, tamaño, nivel de optimización y eficiencia energética del servidor que la aloja (Wholegrain Digital, 2025).

Sin embargo, el impacto ambiental no se limita únicamente al uso de Internet o al acceso a servidores. Dentro de las instituciones académicas, el uso directo de equipos tecnológicos, como computadoras de escritorio, laptops, proyectores, impresoras y sistemas de audio, también puede relacionarse con el consumo energético y, por lo tanto, con el incremento de la huella de carbono digital.

Una jornada escolar puede comprender entre 6 y 8 horas diarias de actividades académicas, durante las cuales diversos equipos permanecen encendidos de forma continua. Entre ellos se encuentran:

- Computadoras de escritorio utilizadas en salas de cómputo o áreas administrativas.
- Laptops empleadas por profesores y alumnos para actividades educativas.
- Proyectores que pueden permanecer encendidos durante clases completas o exposiciones.
- Impresoras y multifuncionales que se mantienen disponibles para el flujo de documentos.
- Sistemas de audio empleados en auditorios o salones multimedia durante prácticas o presentaciones.

Cuando estos dispositivos no cuentan con sistemas de ahorro de energía, como apagado automático, modos de suspensión o configuraciones de bajo consumo, o cuando carecen de mantenimiento preventivo adecuado, el gasto eléctrico puede aumentar. Desde esta perspectiva, el uso cotidiano de tecnología en ambientes escolares permite reflexionar sobre la necesidad de integrar criterios de eficiencia energética en la formación académica.

Si se analiza este fenómeno desde la perspectiva de un caso individual, es posible dimensionar de manera aproximada cómo las actividades comunes de un estudiante, como utilizar una computadora para realizar tareas, proyectar una presentación, imprimir documentos o consultar información en línea, pueden vincularse con el consumo de energía eléctrica y la emisión indirecta de gases de efecto invernadero. Al considerar escenarios más amplios, esta relación debe entenderse únicamente como una proyección hipotética, ya que los hábitos y condiciones tecnológicas pueden variar entre estudiantes.

## **FASE 2: DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO ESTIMADO EN EL CASO DE ESTUDIO**

Se organizaron datos de referencia sobre los equipos tecnológicos utilizados con mayor frecuencia por el autor durante sus actividades académicas.

**Tabla 1. Estimación de la Potencia Eléctrica Aproximada de los Dispositivos Utilizados**

<b>Dispositivo</b>	<b>Consumo aproximado (W)</b>
1 laptop	30 W para uso promedio (Marsh, 2024a)
1 computadora de escritorio	200 W para PC estándar/gaming (EcoFlow, s. f.)
1 aire acondicionado	500 W según tipo y tamaño (McCabe, 2024)
1 router	5 W para routers típicos (Marsh, 2023)
1 teléfono celular (cargador)	5 W para cargadores estándar (Marsh, 2024b)

*Fuente: Elaboración propia con datos de las fuentes referenciadas.*

Para estimar de manera aproximada el consumo energético asociado al uso académico de tecnología en el caso analizado, se tomó como referencia el registro de consumo eléctrico doméstico del autor, integrado por 30 recibos correspondientes a distintos periodos de facturación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), como se muestra en la figura 2.

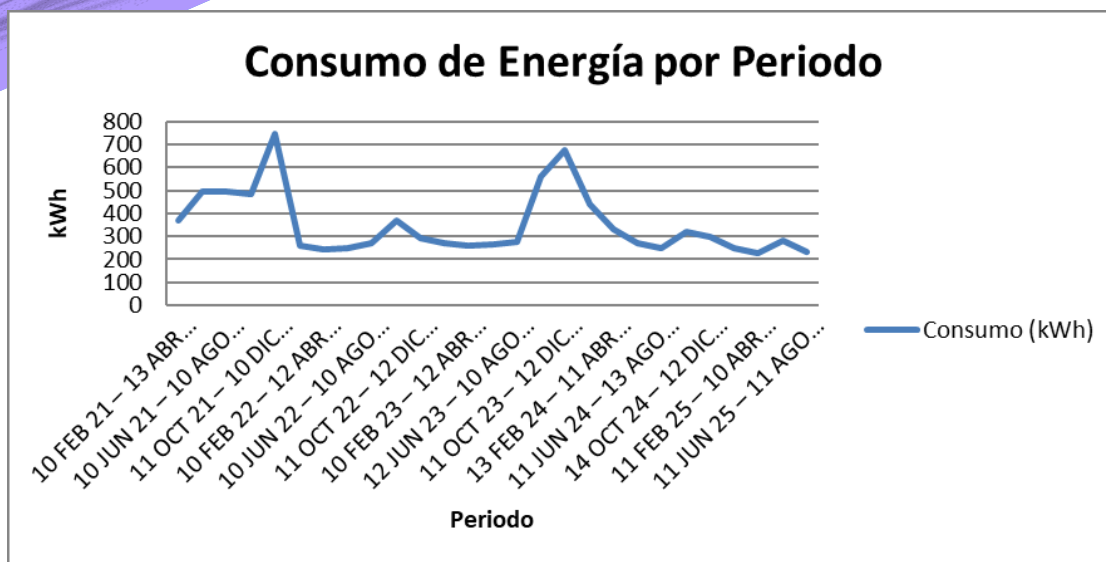


Figura 2. Evolución del Consumo de Energía Eléctrica (kWh) por Periodo

Fuente: Elaboración propia con registros de consumo eléctrico doméstico del autor.

A partir de estos datos, se identificó el consumo total del hogar en cada intervalo y posteriormente se estimó, de manera aproximada, el consumo energético asociado a los equipos utilizados en el caso de estudio, tales como laptop, computadora de escritorio, módem, monitor, teléfono móvil y otros dispositivos complementarios. Para ello, se consideró la potencia promedio de cada dispositivo y las horas de uso estimadas durante las actividades académicas.

Para describir la posible relación entre el consumo eléctrico y las actividades académicas de un estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales, se realizó una estimación del consumo energético de los dispositivos principales utilizados en el caso analizado. Posteriormente, dicho valor se comparó con el consumo total del hogar registrado en los periodos bimestrales, con el propósito de construir un escenario de referencia sobre la posible participación del uso tecnológico en la demanda eléctrica doméstica.

### PASO 1: ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DIARIO DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN EL CASO DE ESTUDIO (KWH/DÍA)

El primer paso consiste en estimar cuánta energía podría consumir cada dispositivo durante un día de uso académico. La unidad de consumo eléctrico estándar para la facturación es el kilovatio-hora (kWh).

El consumo en vatios (W) se convierte a kilovatio-hora (kWh) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo diario estimado (kWh)} = (\text{Consumo (W)} \times \text{Horas de uso al día (h)}) / 1000$$

El factor de 1000 se utiliza para convertir vatios (W) a kilovatios (kW).

#### ESTIMACIÓN INDIVIDUAL POR DISPOSITIVO

Para esta estimación se utilizaron valores de consumo aproximado en vatios (W) y horas de uso diario estimadas, tomando como referencia los dispositivos tecnológicos considerados en el caso de estudio.

**Tabla 2. Estimación del Consumo Energético Diario por Dispositivo**

Dispositivo	Consumo (W)	Horas de uso (h/día)	Consumo diario estimado (kWh)	Operación
Laptop	30	5	0.15	30 W x 5 h / 1000
Computadora de escritorio	200	8	1.60	200 W x 8 h / 1000
Monitor externo	30	8	0.24	30 W x 8 h / 1000
Aire acondicionado	500	5	2.50	500 W x 5 h / 1000
Router/Módem	5	24	0.12	5 W x 24 h / 1000
Teléfono celular / cargador	5	2	0.01	5 W x 2 h / 1000
Regulador/No break	10	24	0.24	10 W x 24 h / 1000
Total diario estimado			4.86 kWh/día	Suma total

Fuente: Elaboración propia a partir de los valores de referencia considerados en el caso de estudio.

**PASO 2: ESTIMACIÓN DEL CONSUMO BIMESTRAL DEL CASO ANALIZADO (KWH/PERIODO)**

El consumo diario estimado se proyecta al periodo de facturación bimestral, considerando 61 días como referencia para esta aproximación de consumo.

**Consumo bimestral estimado (kWh) = Consumo diario total estimado (kWh/día) × Días del periodo**

**Consumo bimestral estimado (kWh) = 4.86 kWh/día × 61 días = 296.46 kWh/periodo**

**PASO 3: ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ANUAL DEL CASO ANALIZADO (KWH/AÑO)**

Para obtener una aproximación anual, se multiplica el consumo bimestral estimado por los seis periodos que componen un año.

**Consumo anual estimado (kWh) = Consumo bimestral estimado (kWh) × 6 periodos**

**Consumo anual estimado (kWh) = 296.46 kWh/periodo × 6 periodos = 1778.76 kWh/año**

**PASO 4: APROXIMACIÓN DEL CONSUMO RESTANTE DEL HOGAR**

Este paso permite comparar el consumo bimestral estimado del caso analizado con el consumo total registrado en el hogar durante cada periodo de facturación. La diferencia obtenida se interpreta como una aproximación del consumo restante del hogar, sin atribuirlo directamente a una medición individual exacta.

**Consumo restante del hogar (kWh) = Consumo total del hogar (kWh) – Consumo bimestral estimado del caso (kWh)**

**Tabla 3. Comparación del Consumo Bimestral Estimado del Caso con el Consumo Total del Hogar**

Periodo	Días	Consumo total del hogar (kWh)	Consumo bimestral estimado del caso (kWh)	Consumo restante del hogar (kWh)
10 FEB 21 - 13 ABR 21	62	368	296.46	71.54
13 ABR 21 - 10 JUN 21	58	497	296.46	200.54
10 JUN 21 - 10 AGO 21	61	496	296.46	199.54
10 AGO 21 - 10 OCT 21	61	493	296.46	196.54
10 OCT 21 - 10 DIC 21	61	378	296.46	81.54
10 DIC 21 - 10 FEB 22	62	373	296.46	76.54
10 FEB 22 - 10 ABR 22	59	385	296.46	88.54
10 ABR 22 - 10 JUN 22	61	548	296.46	251.54
10 JUN 22 - 10 AGO 22	61	552	296.46	255.54
10 AGO 22 - 10 OCT 22	61	543	296.46	246.54
10 OCT 22 - 10 DIC 22	61	408	296.46	111.54
10 DIC 22 - 10 FEB 23	62	398	296.46	101.54
10 FEB 23 - 10 ABR 23	59	399	296.46	102.54
10 ABR 23 - 10 JUN 23	61	478	296.46	181.54
10 JUN 23 - 10 AGO 23	61	551	296.46	254.54
10 AGO 23 - 10 OCT 23	61	538	296.46	241.54
10 OCT 23 - 10 DIC 23	61	413	296.46	116.54
10 DIC 23 - 10 FEB 24	62	398	296.46	101.54
10 FEB 24 - 10 ABR 24	59	402	296.46	105.54
10 ABR 24 - 10 JUN 24	61	489	296.46	192.54
10 JUN 24 - 10 AGO 24	61	563	296.46	266.54
10 AGO 24 - 10 OCT 24	61	548	296.46	251.54
10 OCT 24 - 10 DIC 24	61	419	296.46	122.54
10 DIC 24 - 10 FEB 25	62	403	296.46	106.54
10 FEB 25 - 10 ABR 25	59	410	296.46	113.54

*Nota: El Consumo Bimestral Estimado del Caso (CBE) se mantiene en 296.46 kWh, ya que corresponde a un escenario de referencia estandarizado de 61 días, calculado a partir de un consumo diario estimado de 4.86 kWh. Aunque los periodos de facturación presentan variaciones en su duración, el CBE se conserva fijo con fines comparativos y descriptivos.*

*Fuente: Elaboración propia con datos de consumo eléctrico doméstico del autor.*

**SUPUESTOS DEL ANÁLISIS**

Para la estimación del consumo energético y de la huella de carbono digital en el caso de estudio, se establecieron los siguientes supuestos con el fin de delimitar el alcance del escenario y simplificar el procedimiento de estimación:

- Consideración de días de uso continuo: el cálculo contempla el uso de los dispositivos tecnológicos durante todos los días del periodo, incluyendo fines de semana, bajo el supuesto de que existen actividades académicas, prácticas, proyectos, estudio autónomo o uso de plataformas digitales fuera del horario escolar formal.
- No consideración de días festivos oficiales: no se contemplan días festivos nacionales, estatales o institucionales, por lo que se mantiene un patrón de uso tecnológico constante a lo largo del periodo bimestral de referencia.
- Exclusión de interrupciones del servicio eléctrico: no se consideran apagones, fallas en el suministro eléctrico o cortes de energía. El escenario supone disponibilidad eléctrica continua durante el periodo evaluado.
- Dedicación académica del caso analizado: se considera que las horas de uso estimadas corresponden principalmente a actividades relacionadas con la formación académica y el uso cotidiano de tecnología.
- Ausencia de eventos personales extraordinarios: no se incorporan situaciones imprevistas, como enfermedades, emergencias familiares u otras circunstancias que pudieran modificar de manera importante el uso de equipos tecnológicos durante el periodo de análisis.

Estos supuestos permiten establecer un escenario base estandarizado, orientado a representar un consumo energético constante asociado a la actividad académica típica del caso analizado. No obstante, se reconoce que en la práctica pueden existir variaciones individuales que modifiquen los valores de consumo y las emisiones estimadas.

#### **PASO 5: ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)**

Para aproximar la huella de carbono asociada al consumo eléctrico del caso de estudio, se empleó el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional para 2024, publicado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2024), establecido en 0.444 kg de CO<sub>2</sub> por kWh consumido. Este valor permite convertir el consumo energético estimado en emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> y brinda una referencia del posible impacto ambiental indirecto derivado del uso de equipos tecnológicos.

#### **Fórmula aplicada:**

$$\text{CO}_2 \text{ (kg)} = \text{Consumo bimestral estimado (kWh)} \times 0.444$$

#### **HUELLA DE CARBONO BIMESTRAL ESTIMADA:**

$$\text{CO}_2 \text{ (kg)} = 296.46 \text{ kWh} \times 0.444 = 131.63 \text{ kg de CO}_2$$

Bajo el escenario de referencia, el consumo energético estimado del caso analizado podría asociarse con aproximadamente 131.63 kg de CO<sub>2</sub> por cada periodo bimestral.

#### **HUELLA DE CARBONO ANUAL PROYECTADA:**

$$\text{CO}_2 \text{ (kg/año)} = 131.63 \text{ kg} \times 6 \text{ periodos} = 789.77 \text{ kg de CO}_2/\text{año}$$

Esto equivale a una huella anual aproximada de 0.79 toneladas de CO<sub>2</sub> por año. Si se considera una duración promedio de 5 años para la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, la proyección individual del caso sería: 0.79 t CO<sub>2</sub>/año × 5 años = 3.95 toneladas de CO<sub>2</sub> durante toda la carrera.

#### **PASO 6: PROYECCIÓN HIPOTÉTICA HACIA UNA GENERACIÓN DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES DE LA UJAT (DACYTI)**

Para ampliar el análisis más allá del caso individual, se plantea una proyección hipotética hacia una generación de estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, perteneciente a la División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información (DACyTI).

Esta proyección no pretende afirmar que todos los estudiantes presenten el mismo patrón de consumo, ya que cada uno puede utilizar equipos distintos, horarios diferentes y condiciones particulares en su hogar. Su finalidad es únicamente construir un escenario de comparación que permita dimensionar, de manera descriptiva, cómo podría comportarse la huella de carbono digital si un patrón de uso similar se replicara en un grupo mayor.

Para efectos del escenario hipotético, se considera una generación de referencia de 130 estudiantes.

Huella individual anual aproximada: 0.79 toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

Duración promedio de la licenciatura: 5 años.

Huella individual estimada durante toda la carrera: 0.79 t CO<sub>2</sub>/año × 5 años = 3.95 t CO<sub>2</sub> por estudiante.

**Huella de carbono digital generacional hipotética = Huella individual estimada × número de estudiantes**

**Huella de carbono digital generacional hipotética = 3.95 t CO<sub>2</sub> × 130 = 513.5 toneladas de CO<sub>2</sub>**

## PASO 7: COMPARACIÓN HIPOTÉTICA DEL IMPACTO CON EMISIONES DE UN VEHÍCULO AUTOMOTOR

Con el propósito de facilitar la interpretación del escenario generacional hipotético, se compara la proyección de 513.5 toneladas de CO<sub>2</sub> con referencias conocidas de emisiones vehiculares y consumo de gasolina. Estas equivalencias tienen un carácter ilustrativo y no deben entenderse como una medición directa de la contaminación generada por una generación real de estudiantes.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), un automóvil promedio puede emitir aproximadamente 4.6 toneladas de CO<sub>2</sub> por año (EPA, 2024).

**Autos equivalentes = 513.5 t CO<sub>2</sub> / 4.6 t CO<sub>2</sub> por auto = 111.63 automóviles**

Bajo este escenario hipotético, la proyección equivaldría aproximadamente a las emisiones anuales de 112 automóviles particulares.

Para la comparación con gasolina, la EPA reporta que 1 litro de gasolina quemado produce aproximadamente 2.31 kg de CO<sub>2</sub> (EPA, 2023).

**Litros de gasolina = 513,500 kg CO<sub>2</sub> / 2.31 kg CO<sub>2</sub> por litro = 222,294 litros de gasolina**

**Tabla 4. Comparativa de Impacto Equivalente del Escenario Hipotético**

Impacto equivalente	Resultado aproximado
Automóviles funcionando durante 1 año	112 autos
Litros de gasolina quemada	222,294 L

*Fuente: Elaboración propia con base en factores de emisión reportados por la EPA (2023, 2024).*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados estimativos se presentan de acuerdo con el enfoque cualitativo-descriptivo y el diseño no experimental definidos en la metodología. Su finalidad es organizar e interpretar un escenario de posible impacto ambiental indirecto asociado al uso académico de tecnología en el caso analizado. Para ello, se comparó el consumo estimado de los dispositivos tecnológicos con el consumo total registrado en el hogar y, posteriormente, se aplicó el factor de emisión correspondiente para aproximar la huella de carbono digital.

### 1. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO TECNOLÓGICO DE REFERENCIA

El Consumo Bimestral Estimado del Caso (CBE) se estableció en 296.46 kWh por periodo de facturación de referencia de 61 días. Este valor se construyó considerando el uso de dispositivos esenciales para actividades académicas, tales como computadora de escritorio, monitor, laptop, aire acondicionado, módem/router, cargador de celular y regulador. El CBE se interpreta como una aproximación del consumo energético asociado al caso analizado, no como una medición exacta aplicable a todos los estudiantes.

### 2. CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL APROXIMADA A LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL HOGAR

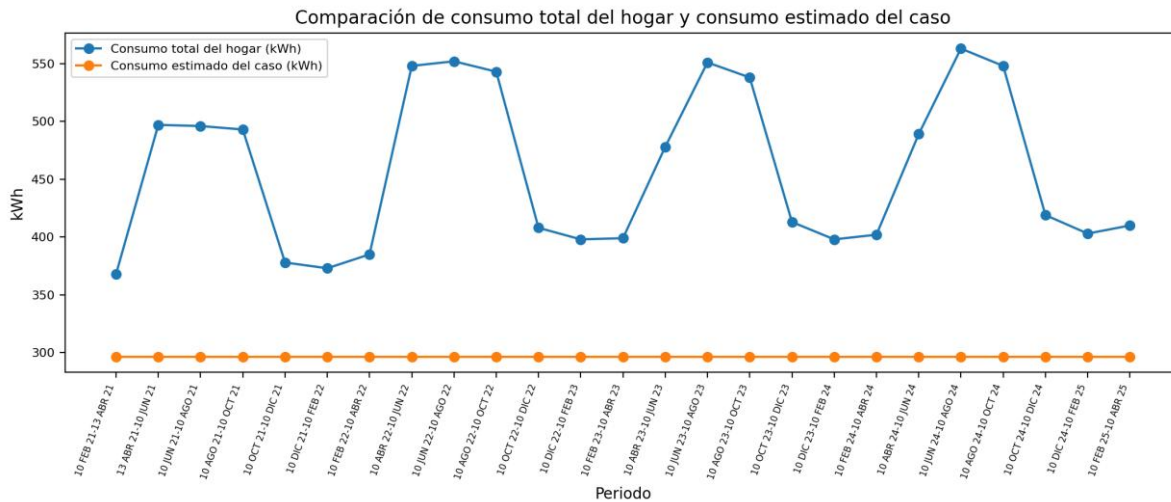
Al contrastar el CBE de 296.46 kWh con el Consumo Total del Hogar (CTH) registrado en los recibos, se obtiene una participación porcentual aproximada que permite observar la posible relevancia del uso tecnológico dentro del consumo eléctrico doméstico. En los dos últimos periodos considerados, la comparación queda de la siguiente manera:

**Tabla 5. Contribución Porcentual Aproximada del Consumo Estimado del Caso Respecto al Consumo Total del Hogar**

Periodo de facturación	Consumo total hogar (kWh)	Consumo estimado del caso (kWh)	Contribución porcentual aproximada
10 DIC 24 - 10 FEB 25	403	296.46	73.56%
10 FEB 25 - 10 ABR 25	410	296.46	72.31%

*Fuente: Elaboración propia con datos de consumo eléctrico doméstico del autor.*

En este escenario, el consumo tecnológico estimado podría representar una proporción relevante del consumo total del hogar. Sin embargo, esta proporción depende de los valores registrados en cada periodo, del uso real de los equipos y de otros consumos domésticos no asociados al estudiante.



**Figura 3. Comparación entre el Consumo Total del Hogar y el Consumo Estimado del Caso (kWh) por Periodo**

*Fuente: Elaboración propia con registros de consumo eléctrico doméstico del autor.*

La figura 3 muestra la relación entre el consumo total del hogar y el consumo estimado del caso. Bajo el modelo planteado, la participación porcentual varía según la fluctuación energética del hogar: en periodos de mayor consumo total, la proporción del escenario tecnológico disminuye, mientras que en periodos de menor consumo doméstico la proporción estimada aumenta.

### 3. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

El cálculo se realizó aplicando el factor de emisión del SEN 2024:

$$\text{CO}_2 \text{ (kg)} = \text{Consumo bimestral estimado (kWh)} \times 0.444$$

$$\text{HUELLA DE CARBONO BIMESTRAL ESTIMADA: } 296.46 \times 0.444 = 131.63 \text{ KG DE CO}_2.$$

$$\text{HUELLA DE CARBONO ANUAL PROYECTADA: } 131.63 \times 6 = 789.77 \text{ KG DE CO}_2 \text{ POR AÑO, EQUIVALENTE A 0.79 TONELADAS DE CO}_2 \text{ ANUALES.}$$

### 4. IMPACTO ANUAL Y TRAYECTORIA ACADÉMICA PROYECTADA

Considerando que la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales tiene una duración aproximada de 5 años, la huella total estimada para el caso analizado sería de  $0.79 \text{ t CO}_2/\text{año} \times 5 = 3.95$  toneladas de  $\text{CO}_2$  durante toda la carrera. Este valor debe interpretarse como una aproximación dentro del escenario hipotético, ya que el consumo real puede variar de acuerdo con los equipos, hábitos de uso, horarios y condiciones del hogar.

#### IMPACTO AMBIENTAL AMPLIADO DE LA HUELLA DE CARBONO DIGITAL EN UNA GENERACIÓN DE ESTUDIANTES

La estimación de la huella de carbono digital hacia una generación completa de estudiantes permite ampliar la reflexión del caso individual hacia un escenario colectivo. No obstante, esta proyección debe entenderse como un ejercicio hipotético, ya que no se cuenta con mediciones individuales de todos los estudiantes ni con evidencia de que compartan los mismos patrones de consumo.

Bajo el supuesto de que el patrón estimado en el caso analizado se replicara en una generación de 130 estudiantes, la huella de carbono digital durante toda la carrera podría aproximarse a 513.5 toneladas de  $\text{CO}_2$ . Esta cantidad equivaldría, de manera ilustrativa, a las emisiones anuales de aproximadamente 112 automóviles particulares o a la quema de 222,294 litros de gasolina. Estas equivalencias ayudan a visualizar la magnitud potencial del fenómeno, pero no constituyen una afirmación directa sobre la contaminación real de una generación específica.

## CONCLUSIÓN

El caso de estudio hipotético permitió describir la posible relación entre el uso académico de tecnología, el consumo de energía eléctrica y la huella de carbono digital en el ámbito estudiantil. Desde el enfoque cualitativo-descriptivo adoptado, las estimaciones funcionan como una aproximación contextual construida a partir de los registros disponibles del autor y de los supuestos metodológicos establecidos.

Bajo el modelo de estimación utilizado, el consumo tecnológico considerado podría asociarse con una huella aproximada de 131.63 kg de CO<sub>2</sub> por periodo bimestral, 0.79 toneladas de CO<sub>2</sub> por año y 3.95 toneladas de CO<sub>2</sub> durante una trayectoria académica de cinco años. Estos valores describen el comportamiento del caso analizado y deben interpretarse dentro de su propio alcance metodológico.

La proyección hacia una generación de 130 estudiantes se conserva como un escenario ilustrativo. Si un patrón similar de uso tecnológico se presentara en todos los integrantes, la huella generacional podría aproximarse a 513.5 toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes de manera referencial a las emisiones anuales de 112 automóviles particulares o a la quema de 222,294 litros de gasolina. Esta comparación permite dimensionar el fenómeno, sin asumir que todos los estudiantes tengan las mismas condiciones de consumo.

El análisis también permite identificar que equipos como la computadora de escritorio y el aire acondicionado pueden tener un peso importante dentro del escenario de consumo eléctrico, por lo que representan áreas de oportunidad para promover prácticas de eficiencia energética, optimización de horarios de uso y selección de dispositivos de menor consumo.

En síntesis, el estudio no establece valores absolutos sobre la contaminación generada por la población estudiantil, sino que ofrece una aproximación descriptiva para reflexionar sobre la responsabilidad ambiental asociada al uso intensivo de tecnología durante la formación en Ingeniería en Sistemas Computacionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Federal de Electricidad [CFE]. (2024). Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional (FESEN) 2024. Gobierno de México.
- EcoFlow. (s. f.). Laptop vs. desktop: How many watts do computers use? EcoFlow Blog. <https://www.ecoflow.com/us/blog/laptop-vs-desktop-how-many-watts-do-computer-use>
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2023). Emission factors for greenhouse gas inventories.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2024). Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle. <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- Marsh, J. (2023, 6 de diciembre). How many watts does a Wi-Fi router use? EnergySage. <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-wi-fi-router-use/>
- Marsh, J. (2024a, 22 de noviembre). How many watts does a computer use? EnergySage. <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-computer-use/>
- Marsh, J. (2024b, 25 de noviembre). How many watts does a phone charger use? EnergySage. <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-phone-charger-use/>
- McCabe, L. (2024, 22 de marzo). How much energy does an air conditioner use? EnergySage. <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-an-air-conditioner-use/>
- Repsol. (2025, 28 de agosto). ¿Qué es la huella de carbono y por qué es importante? <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml>
- Wholegrain Digital. (2025, 17 de septiembre). Website Carbon™ Calculator v4: What's your site's carbon footprint? Website Carbon Calculator. <https://www.websitecarbon.com/>

# PRIMER SEMANA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA EN INDUSTRIA 4.0 (COAH-2025-C25-E019)

M.C. Manuel de Jesús Rodríguez Sánchez, M.C. Minerva Méndez Arrellín, M.C. Yolanda Berenice Torres Ruiz, M.C. María Isabel Pintor, M.A. José Baldemar Rebolledo Martínez.

- <sup>(1)</sup> Universidad Tecnológica de Coahuila / [mrodriguez@utc.edu.mx](mailto:mrodriguez@utc.edu.mx)
- <sup>(2)</sup> Universidad Tecnológica de Coahuila / [marrellin@utc.edu.mx](mailto:marrellin@utc.edu.mx)
- <sup>(3)</sup> Universidad Tecnológica de Coahuila / [maria.pintor@utc.edu.mx](mailto:maria.pintor@utc.edu.mx)
- <sup>(3)</sup> Universidad Tecnológica de Coahuila / [btorres@utc.edu.mx](mailto:btorres@utc.edu.mx)
- <sup>(5)</sup> Universidad Tecnológica de Coahuila / [jrebolledo@utc.edu.mx](mailto:jrebolledo@utc.edu.mx)

Cuerpo Académicos de Mecatrónica

## Resumen.

La Universidad Tecnológica de Coahuila, dentro de las convocatorias de COECYT (Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología), postuló la “**Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica e Industria 4.0**” (COAH-2025-C25-E019), en la modalidad E, que establece impulsar actividades que difundan el conocimiento científico y tecnológico en Coahuila, con actividades Cursos, talleres, seminarios, congresos, y otros eventos educativos similares. En esta Primer Semana, el objetivo principal es el desarrollo de proyectos enfocados a la industria con enfoques en la Industria 4.0, donde se ponga en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas, y controlar las diferentes variables de control que se encuentran en la industria de la región, enfocada principalmente en la industria automotriz, además, se realizaron talleres y conferencias con empresarios de las diferentes industrias de Ramos Arizpe, Saltillo y Monterrey.

Dentro de primer Semana de Ingeniería, los alumnos de Mecatrónica participaron con mucho interés en conocer lo nuevo que está en la industria con la tecnología 4.0 durante el evento, los empresarios en las conferencias, explicaron los nuevos métodos de trabajo, así como la automatización de los procesos, cómo se está utilizando la nube, para realizar mejoras dentro de los procesos, y controlar el mantenimiento o ajustes de los equipos, dentro de la semana se desarrollaron talleres donde los estudiantes desarrollaron prácticas de Neumática e Hidráulica, Control de Motores, PLC, Electrónica, además de conocer la plataforma Mendix, que es una herramienta para el control y desarrollo de nuevos proyectos. Dentro de las conferencias desarrolladas, se llevó a cabo un panel de egresados: “Del aula, al mundo laboral”. La IA es un lujo o una realidad, Robótica e Inteligencia Artificial: Construyendo el futuro.

*Palabras Clave: Industria 4.0, Mecatrónica, Tecnológica.*

*Línea de investigación: Tecnologías avanzadas, Mecatrónica, IA*

## Summary.

The Technological University of Coahuila, within the framework of the COECYT (State Council of Science and Technology) calls for proposals, submitted the “**First Week of Mechatronics Engineering and Industry 4.0**” (COAH-2025-C25-E019), under modality E, which aims to promote activities that disseminate scientific and technological knowledge in Coahuila. Activities include courses, workshops, seminars, conferences, and other similar educational events. The main objective of this First Week is the development of industry-focused projects using Industry 4.0 approaches, where students can put their classroom knowledge into practice and learn to manage the various control systems found in the region's industry, primarily the automotive sector. Workshops and conferences were also held with business leaders from different industries in Ramos Arizpe, Saltillo, and Monterrey.

During the first Engineering Week, Mechatronics students participated with great interest in learning about the latest developments in Industry 4.0 technology. Business leaders explained new ways of working and process automation, highlighting how they are using the cloud to improve processes and control equipment maintenance and adjustments. Throughout the week, workshops were held where students practiced Pneumatics and Hydraulics, Motor Control, PLCs, and Electronics using the Mendix platform, a tool for controlling and developing new projects. The conferences included a panel discussion with students on "From the Classroom to the Workplace," "AI: A Luxury or a Reality?" and "Robotics and Artificial Intelligence: Building the Future"

Keywords: Industry 4.0, Mechatronics, Technological

Line of research: Advanced Technologies, Mechatronics, AI

## INTRODUCCIÓN.

Dentro de este mundo globalizado y con las nuevas tecnologías, las industrias están migrando a la nueva era digital donde los nuevos profesionistas tendrán que adquirir los conocimientos para manipular los procesos automatizados, la era de inteligencia artificial y la industria 4.0 son el futuro de las tecnologías en las industrias. Dentro de la comunicación, hoy se puede tener reuniones en forma más fácil con todo el personal a cargo de un proceso o nuevo proyecto, en diferentes partes del mundo. En la **Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0**, se llevarán a cabo talleres donde el software Mendix, permite generar proyectos en los cuales se puede involucrar a personal de diferentes partes del mundo, y asignar tareas del proyecto, esto permite tener un control de los avances del proyecto. Y desarrollar nuevas formas de como interactuar con los proyectos donde se utiliza la industria 4.0.

## DESARROLLO.

La Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0.

La primer semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0, tiene el objetivo de que los alumnos comprendan, desarrollen y practiquen con nuevas tecnologías que se están usando en la industria de la región Sureste, para esto se preparó una serie de actividades con empresarios, talleres, conferencias y muestra de proyectos que desarrollaron los alumnos de Mecatrónica, para ver la implementación de sus conocimientos en prototipos industriales o inventivas que mejoraran los procesos de la región.

Dentro de las fases que se desarrollaron para generar la **Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0** fueron:

- La primera fase (Inicio). Reuniones del Cuerpo Académico de Mecatrónica, para la realización del plan de actividades que se desarrollarán.
- Segunda fase (Desarrollo). Plan de trabajo, talleres, visitas empresariales, muestra de proyectos, conferencias, donde los expertos compartirán sus experiencias con las tecnologías, exalumnos con el tema:” Del aula a la industria”, y talleres de Mendix, PLC, Neumática e Hidráulica.
- Tercera fase (Cierre). Se desarrollaron las actividades de la Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0, donde se involucraron más de 700 alumnos de TSU (Técnico Superior Universitario) y alumnos de ingeniería. Así como directores, maestros y administrativos de la Universidad.

*Figura 1. Cartel de la Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0.*



**Nota** (M.C Carlos Montes Carnero).

En la primera semana se desarrollaron varias conferencias entre las cuales se destacó el debate de expertos industriales, donde se tuvo la presencia de directores, expertos en robótica, Doctores especialistas en inteligencia artificial, además, de talleres donde los alumnos

desarrollaron la programación de proyectos industriales para la región y una muestra de proyectos, donde demostraron los conocimientos adquiridos en la Universidad.

## *OBJETO DE ESTUDIO.*

### **Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0.**

Para hablar de la inteligencia artificial hay que remontarse a los orígenes de la computación. Es importante tener en mente que IA depende del surgimiento de la ciencia de informática, donde Alan Turing, publicó un concepto de máquina Turing, donde describió la capacidad infinita de una calculadora, sentando así las bases de la informática.

A mediados de la década de los 30s, Alan Turing publicó un artículo en el que introdujo el concepto de Máquina de Turing. En su escrito, el matemático británico definió lo que él describió como una máquina calculadora de capacidad infinita, con esta máquina, ha sentado así las bases del concepto moderno de algoritmo. Fue tal la repercusión de este texto, que a la fecha es considerado como la base teórica de las ciencias de la computación. Años más tarde, Konrad Zuse, diseñó la primera computadora digital. La Z3, operada con un sistema binario y requería cinta externa para almacenar programas. Así en los años 70 se experimentó un crecimiento significativo desde la Mycin, hasta lenguaje de programación de lógica (1975).

Desde entonces y hasta la fecha, ha visto un crecimiento exponencial en la difusión de la IA, y que estas aplicaciones han ayudado en la industria de la región sureste, en todos los ámbitos de la ciencia como: la educación, la industria farmacéutica, entre otras, donde la IA ha transformado la aplicación del conocimiento.

## *METODOLOGÍA.*

Dentro del entorno educativo, los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Coahuila (UTC), están trabajando con la IA. Desde el ámbito educativo hacia la empresa, es importante que los alumnos que estarán incursionando en la vida laboral, conozcan esta tecnología, además de tener el apoyo del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT), por medio del Cuerpo Académico de Mecatrónica, postular, en la modalidad E, la **Primera Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0 (COAH-2025-C25-E019)**, donde, por medio de expertos, se informará cómo se está utilizando la IA dentro de la industria y qué beneficios y complicaciones han tenido que resolver, al utilizar esta herramienta informática.

Con la autorización de COECYT, para realizar la **Primera Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0**, los alumnos tendrán la oportunidad de interactuar con expertos en la materia de la Inteligencia Artificial, cómo se está comportando en los procesos, si les está ayudando a resolver problemas de mantenimiento; cuáles son los conocimientos que deberán tener para comprender estos temas en el sector productivo; este gran evento organizado por Cuerpo Académico de Mecatrónica y el COECYT, será de gran ayuda para los futuros ingenieros.

## *DESARROLLO.*

Dentro de la educación se tiene varios retos a nivel de Ingeniería, entre los cuales es estar a la vanguardia con las nuevas tecnologías que se desarrollan en la región sureste, y una forma para acercar a los estudiantes con el sector industrial es por medio de semanas tecnológicas. Donde el COECYT, tiene convocatoria para transmitir la innovación y nuevos proyectos, para eso se lanzó la convocatoria **Primera Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0**. Donde los alumnos tuvieron la oportunidad de inscribirse a los diferentes talleres, conferencias y demostrar sus conocimientos adquirido en la universidad por medio de la muestra de proyectos.

## *FASES DEL DESARROLLO.*

### **Inicio.**

Dentro del Cuerpo Académico de Mecatrónica, con el apoyo de rector M.C. Sergio Alberto Guadarrama Cortes y el Dr. Mario P. Valdés Garza director del COECYT, se pudo llevar a cabo la **Primera Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0 (COAH-2025-C25-E019)**, donde se involucraron varios sectores de la región sureste, que dieron a los alumnos su experiencia en las diferentes conferencias y talleres a desarrollar.

## Desarrollo.

Con la finalidad de que los estudiantes tengan una ilustración más amplia y comiencen a esbozar en el horizonte, hacia dónde pueden llegar, el Rector de la Universidad Tecnológica de Coahuila, el maestro Sergio Guadarrama y el Cuerpo Académico de Mecatrónica, inauguró la Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en 14.0.

Acompañado de autoridades académicas, docentes y estudiantes, el Rector Guadarrama enfatizó: “el horizonte guarda en sus entrañas nuestro futuro”. Además, invitó a los estudiantes a reflexionar sobre qué quieren lograr y a efectuar un plan para alcanzar esas metas. Asimismo, recalcó que: “el destino nos pertenece”, dejando claro así, que cada persona, tiene en sus manos su propia dirección.

La Primera Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0 se llevará a cabo en abril del presente año y contará con una serie de conferencias, paneles de egresados, expertos en Ingeniería en Mecatrónica, talleres especializados, así como la Muestra de Proyectos de los alumnos de quinto cuatrimestre de diversas especialidades.

**Figura 2. Inauguración.**



**Nota (Primer semana de Ingeniería mecatrónica en Industria 4.0.**

### **Panel de Egresados “Del aula al mundo profesional”.**

Durante la Primera Semana de Ingeniería en Mecatrónica en Industria 4.0, edición 2026, se llevó a cabo el Panel de Egresados denominado: “Del aula al mundo profesional”, en donde cada participante coincidió en que, para tener éxito laboral, es necesario desarrollar habilidades de liderazgo, comunicación y dominar el idioma inglés.

Los participantes en el Panel de Egresados fueron los ex alumnos: Nayeli Díaz, Ingeniera en Mecatrónica y docente de la Universidad Tecnológica de Coahuila; Jhonatan Olivares, Ingeniero en Mecatrónica con Maestría en Gestión de Empresas de Manufactura y Licenciatura en Psicología; Isaac Sebastián Gómez Ayala, Ingeniero en Mecatrónica, especializado en Ingeniero en Controles en el área de automatización industrial y el ex alumno, Dan V. Duran, Ingeniero en Mecatrónica, con formación internacional en sistemas automatizados, quien participó en el programa MexPortec, beca de movilidad, que le permitió alcanzar una especialización en Francia.

A pregunta expresa de cuál era el mayor reto que han enfrentado en la vida laboral, los ex alumnos dijeron que situaciones particulares en sus propias empresas, por ejemplo, Isaac Sebastián Gómez, señaló que, en el aspecto de la programación y la producción, es importante que los ingenieros comprendan que hay un momento en que es necesario perder el miedo a la toma de decisiones y que éstas, no funcionen, dado que hay pérdidas, sí, pero es preferible esto, a no haber desarrollado un cambio o tomado una alternativa de riesgo.

Por otra parte, al ser cuestionados sobre cuál asignatura o habilidad, los estudiantes deben poner mayor cuidado, cada uno de los ex alumnos determinó que el Liderazgo es fundamental para tener un mayor éxito en la vida, y que ésta es una habilidad que se tiene que desarrollar.

Nayeli Díaz afirmó que el Liderazgo y la Comunicación son dos herramientas fundamentales para destacar en la industria, por ello invitó a los estudiantes a poner mayor énfasis en estas asignaturas; el ingeniero Dan V. Durán dijo:” Voy a parecer disco rayado, pero es importante que le den la importancia necesaria a dominar el idioma inglés, ya que, en la empresa, esto es muy relevante y permitirá abrir las puertas a los estudiantes”.

**Figura 3. Panel de egresados.**



**Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0.**

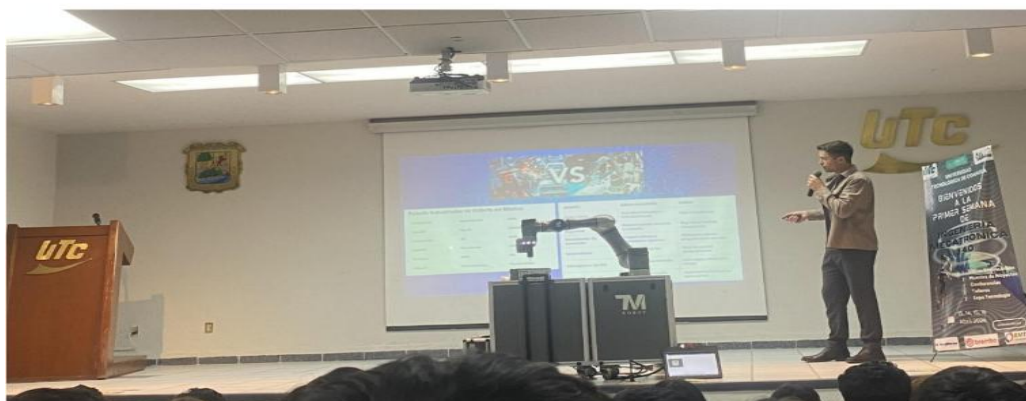
**Conferencia 1. “El futuro es colaborativo.”**

El mercado global de robots colaborativos alcanzó los 269 millones de dólares en el año 2024, y se proyecta que para el 2033, éste crecerá a unos 65 millones de dólares, de acuerdo con el estudio elaborado por McKinsey Global Institute, afirmó Guilherme Fernández, en su Conferencia denominada “El futuro es colaborativo”, impartida en la Primera Sema de Ingeniería en Mecatrónica I4.0.

El ponente Guilherme Fernández Senior en Manufactura Avanzada de BRASMEX, señaló que este crecimiento exponencial se distribuye en un 75% para la compra de robots y un 24.4% para software, destacando aquí, una gran oportunidad para programadores y desarrolladores de software. Un punto muy importante para nosotros, como estudiantes de Mecatrónica, recaló, es la división del valor de un proyecto, es decir, hay muchas oportunidades para los futuros ingenieros y programadores, pese a que este mismo estudio determina, que para el año 2030, los robots reemplazarán hasta 800 millones de trabajadores en todo el mundo.

Un punto muy importante para nosotros, como estudiantes de Mecatrónica, recaló, es la división del valor de un proyecto, es decir, hay muchas oportunidades para los futuros ingenieros y programadores, pese a que este mismo estudio determina, que para el año 2030, los robots reemplazarán hasta 800 millones de trabajadores en todo el mundo.

**Figura 4. El futuro es colaborativo.**



**Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0).**

“En el año 2017 este mismo instituto predijo que aproximadamente una quinta parte de la fuerza laboral, será impactada por la adopción de la Inteligencia Artificial y la Automatización en las industrias”, mencionó. Al mismo tiempo determinó que, es relevante prepararse para el cambio tecnológico. “La robótica no solo busca reemplazar tareas, sino crear nuevos nichos donde se necesita personal altamente capacitado para implementar estas tecnologías de manera escalable y eficiente”.

Finalmente invitó a los estudiantes a prepararse y a aprovechar el tiempo en la Universidad Tecnológica de Coahuila, a buscar aprender sobre lenguaje de programación, entre otras actividades.

### **Panel de expertos “Mega tendencias en la Mecatrónica, Nuevas Tecnologías y su impacto en la industria.”**

En la actualidad se está hablando mucho de la inteligencia artificial, en donde las industrias están empezando a desarrollar sus procesos aplicando esta tecnología de la era digital, se ha hablado mucho que las industrias en pocos años pasarán sus procesos a ser manipulados y controlados por la inteligencia artificial, tanto en el ámbito operacional como en el mantenimiento de los equipos, esto se está viendo como una forma de tener menos personal operario y de mantenimiento, esta gran pregunta se realizó a expertos en los ámbitos industrial, de investigación y robótica.

En el panel de expertos estuvieron presentes, el Dr. Carlos Alberto Martínez Miwa, catedrático de ingeniería en la Universidad y investigador, Dr. Martin Fibela Esparza, catedrático de la Universidad e investigador de la región sureste en la industria; el M.C. José Guadalupe Rodríguez Sánchez, director de BREMBO Monterrey, N.L. y el Ing. Guilherme Fernández, experto en robótica colaborativa de Brass México, quienes respondieron algunas preguntas relacionadas con la inteligencia artificial y nuevas tecnologías donde compartieron el panorama que se presenta en la actualidad en la industria y en la investigación, sobre los temas más relevantes para la educación.

En el momento que se habló de los beneficios que ha traído la IA a los procesos productivos, el M.C. José Guadalupe Rodríguez expresó que esta tecnología ya está funcionando en otras partes del mundo, por medio de la nube, donde se suben datos de la máquina y por medio de softwares y el uso de los parámetros de las piezas, la máquina se auto ajusta, de acuerdo a los parámetros, sobre todo si éstos están fuera de tolerancia; con la llegada de la inteligencia Artificial (IA), se podrá controlar una mayor cantidad de datos en un menor tiempo y tomar decisiones con mayor presión; el Dr. Carlos Alberto Martínez, comentó que es importante tener en cuenta que, es una nueva forma de desarrollar programas o preguntas para conocer la tendencia en la sociedad o en el ámbito laboral, pero en investigaciones realizadas por medio de la inteligencia artificial, se encontraron algunos errores que según la aplicación, entendía otros parámetros, y esto quedó de manifiesto en un estudio realizado para un puesto donde esperaban tener tanto profesionistas hombres como mujeres para el puesto, pero el estudio arrojó para el puesto, puros hombres, y esto es lo que ha dado la pauta para mejorar o formular las preguntas y tener una investigación más real al puesto.

Por último, enfatizaron que, aunque el mundo esté cambiando en las nuevas tecnologías para hacer más sencillo las operaciones en la producción de nuevos productos, es importante tener los conocimientos y los principios de las materias de la especialidad, porque hay problemas en planta que se deben resolver con la consulta a los manuales de los equipos, y no tanto con las tecnologías que están en nuestro entorno.

**Figura 5. Panel de expertos.**



**Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0).**

## Conferencia 2. Level up: Cómo el inglés impulsa tu futuro profesional.

Dentro de la primer semana de Ingeniería Mecatrónica, se impartió una conferencia a los alumnos de 2 y 5 cuatrimestre de Mecatrónica donde se les hizo ver la importancia del idioma Ingles, la Ing. Carmen Susana Flores Salazar, representante de John Deere, dijo que ha estado trabajando en el extranjero por más de 7 años, y que, el hablar el idioma ingles le ha abierto las puertas para expandir su conocimientos y conocer otras partes del mundo, donde se encuentran plantas que también están en México.

Al presentar una estadística sobre las personas profesionistas que tienen el idioma inglés, es una curva que va subiendo en México porque el idioma ingles en la actualidad ya no es un ventaja para un profesionista, es una necesidad poder dominarlo, es de suma importancia saber comunicarse en otro idioma, pero el inglés técnico es una parte fundamental de su carrera, para poder entender los manuales, las refacciones de una máquina y poder interactuar con el equipo de expertos, cuando se está haciendo una reparación o instando equipo nueva.

Dentro de la conferencia realizó una actividad, con los alumnos para ver cuántos dominaban el idioma inglés, preguntó en ingles cuál era su percepción de una fábrica en cuanto a un proyecto a desarrollar, nada más 4 personas pasaron al frente a contestar la pregunta en inglés, a lo cual la Ing. Carmen Flores Salazar, comentó que tenían buen dominio del idioma, pero que debería ser estudiado y practicado aquí en México, ya algunos de los alumnos que participaron, habían estado viviendo un tiempo en E.U.

La expositora motivó a los alumnos a prepararse en este idioma, que les abrirá nuevas puertas dentro del ambiente profesional y podrán tener más oportunidades para involucrarse en los proyectos que desarrollarán en las empresas.

*Figura 6. Cómo el inglés impulsa tu futuro profesional.*



*Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0).*

## Conferencia 3. Decisiones Financieras Inteligentes.

En la conferencia la Lic. Zilia Marcela Estrada González de seguros GNP, dentro de las pensiones que existen en México, de la ley 73, que eran la que existía en años anteriores y posterior a ese año, entró el régimen de la ley 97, que es la que se tiene hoy, en el IMSS, que es donde ahora están todos los trabajadores del sector industrial. Y hay trabajadores del sector de servidores públicos que están en el ISSSTE, y tiene también dos regimenes el décimo transitorio y el de cuentas individuales, los cuales tienen también sus diferencias en el régimen de pensiones.

La Conferencista comentó que hay que tomar la decisión desde ahorita, es decir, empezar a ahorrar para tu pensión, para tener la capacidad de poder sustentar su vida después de retirase de trabajar; esta decisión es muy importante y deberán ser constantes en su ahorro, para llegar a la meta planeada en cuanto se retiren, y no pasar por una vida de vejez, sin recursos.

*Figura 7. Decisiones Financieras Inteligentes.*



*Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0).*

#### **Taller 1. Mendix.**

El Maestro, Carlos Alfredo Montes Carnero, es ingeniero en sistemas computacionales con maestría en administración de Recursos Humanos, cuenta con una sólida formación académica y amplia experiencia en el ámbito tecnológico y educativo. Actualmente se desempeña como docente en educación superior, impartiendo clases a nivel ingeniería y maestría, en áreas como programación, aplicaciones web, desarrollo móvil, Python y programación orientada a objetos.

Con el objetivo de fortalecer las competencias digitales de los estudiantes, se llevó a cabo el taller “Desarrollo de aplicaciones en Mendix”, impartido por el maestro Montes Carnero. Durante su intervención, el docente explicó que Mendix es una plataforma de desarrollo low-code que permite la creación y optimización de aplicaciones de manera ágil y eficiente, mediante el uso de herramientas visuales que simplifican el proceso de programación.

*Figura 8. Taller Mendix.*



*Nota (Primer Semana de Ingeniería en mecatrónica).*

En el desarrollo del taller, los estudiantes analizaron una aplicación funcional previamente diseñada, lo que les permitió comprender la interacción de los distintos componentes en un entorno real. Este enfoque práctico favorece el entendimiento del flujo de trabajo en la plataforma y fortalece el aprendizaje a través de la experiencia directa.

## Taller 2. Neumática e Hidráulica.

La ponente Yolanda Berenice Torres Ruiz egresó de TSU de la Universidad Tecnológica de Coahuila en el año 2005, tiene una ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad del Valle de México; cuenta con una Maestría en Nanotecnología en área de Metales del Centro de Investigación en Materiales Avanzada. (CIMAV).

La hidráulica y la neumática son dos tecnologías fundamentales en la ingeniería y la automatización industrial, ya que emplean fluidos (líquidos o gases) para transmitir energía y controlar movimientos. Ambos sistemas se utilizan ampliamente en aplicaciones donde se requiere alta precisión, fuerza o velocidad en la operación de maquinaria y equipos industriales, informó la catedrática.

La tecnología desempeña un papel esencial en la optimización de procesos, mejorando la eficiencia, la seguridad y la productividad en una variedad de sectores industriales, como la manufactura, la automotriz, la construcción y la minería.

**Figura 9. Taller de Neumática e Hidráulica.**



**Nota (Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0).**

### Conceptos Clave de Hidráulica y Neumática

La hidráulica utiliza líquidos —generalmente aceite a presión— para transmitir energía. Sus componentes principales incluyen bombas, cilindros hidráulicos, válvulas, acumuladores y filtros. Entre sus principales ventajas, determinó, destacan la gran capacidad de generar fuerza y el control preciso, lo que la hace ideal para aplicaciones de alta potencia, como maquinaria pesada, prensas y excavadoras. Asimismo, se emplea en sistemas de elevación de cargas, frenos de vehículos y maquinaria de construcción. Una de las ventajas que ofrece, mencionó, es gran fuerza y control preciso, ideal para aplicaciones que requieren alta potencia, por ejemplo, maquinaria pesada, prensas, excavadoras. Así también, dijo, se aplica en casos típicos de elevación de cargas pesadas, sistemas de frenos de vehículos, maquinaria de construcción. (Festo , 2024)

## Taller 3. Electricidad.

José Baldemar Rebolledo Martínez es ingeniero Mecánico Electricista, tiene una Maestría en Administración; actualmente es docente en la Universidad Tecnológica de Coahuila, imparte materias como: Circuitos Eléctricos, Sensores, Fundamentos de Estática y Dinámica, Electrónica Analógica, Electrónica Digital, Dibujo Mecánico, Sistemas Lineales para Automatización.

La electricidad es una forma de energía fundamental en la vida moderna, presente en prácticamente todas las actividades cotidianas, desde la iluminación de espacios hasta el funcionamiento de dispositivos electrónicos complejos. Se define como el conjunto de fenómenos físicos asociados a la presencia y movimiento de cargas eléctricas, principalmente electrones, a través de un medio conductor. Señaló el catedrático en la Primera Semana de Ingeniería en Mecatrónica I4-0.

Añadió que el estudio de la electricidad, permite comprender cómo se genera, transporta, controla y utiliza la energía eléctrica de manera eficiente y segura. En el ámbito académico y tecnológico, dijo, el conocimiento de la electricidad constituye un pilar

esencial para la formación de profesionales en áreas como la ingeniería, la automatización y la mecatrónica. A partir de sus principios básicos, se desarrollan sistemas capaces de transformar la energía eléctrica en movimiento, luz, calor o información.

**Figura 10. Taller de Electricidad.**



**Nota (Primer Semana de Ingeniería mecatrónica en Industria 4.0).**

“Uno de los componentes más relevantes derivados del estudio de la electricidad es el transistor, dispositivo semiconductor que ha revolucionado la electrónica moderna. El transistor funciona como un interruptor o amplificador de señales eléctricas, permitiendo controlar el flujo de corriente en un circuito con gran precisión. Gracias a esta capacidad, se ha convertido en un elemento indispensable en el diseño de sistemas electrónicos,” afirmó.

Existen diversos tipos de transistores, entre los que destacan el transistor de unión bipolar (BJT) y el transistor de efecto de campo (MOSFET). El primero, agregó, opera mediante el control de corriente, mientras que el segundo, se basa en el control por voltaje, lo que le otorga mayor eficiencia en múltiples aplicaciones. Ambos dispositivos cuentan con tres terminales que permiten regular el paso de la corriente eléctrica de acuerdo con las necesidades del circuito.

**Taller 4. Fabricación Aditiva.**

La Maestra Yessenia de León catedrática de ingeniería en la Universidad Tecnología de Coahuila, y diseñadora de manufactura aditiva, en impresión 3D, dentro del taller explicó, que es la manufactura aditiva es un proceso que permite la fabricación de objetos tridimensionales mediante la adición sucesiva de capas de material, esta tecnología versátil y prometedora que está transformando la forma en que se diseña y producen objetos de diversas industrias, desde sus inicios (los 80's) debido a sus aplicaciones, sus usos principales y funciones se le conoció como impresora 3D y se popularizó como herramienta de Prototipado rápido.

Esto debido a la similitud de los procesos con la impresión en 2D sobre papel, solo que esta vez se imprimían estos patrones 2D muchas veces hasta que se formaba un elemento 3D; también, se asoció bastante a la construcción de prototipos debido a que los primeros materiales accesibles no tenían propiedades mecánicas que permitieran pensar en darle un uso final a las piezas, más que el uso estético y visual que ofrece un prototipo.

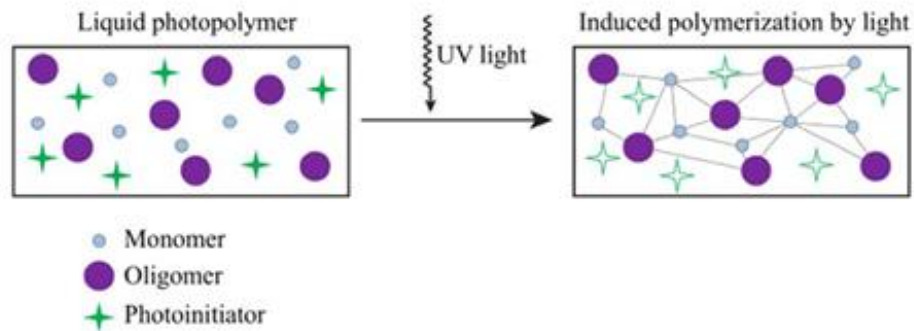
Figura 11. Fabricación Aditiva.



*Nota (Primer semana de Ingeniería mecatrónica en Industria 4.0).  
(Laminas y Aceros Yucatan , 2026)*

Dentro de las 7 familias de manufactura aditiva se encuentra, por ejemplo, la Fotopolimerización líquido contenido en una cuba (o tanque) se cura selectivamente mediante una fuente de calor.

Figura 12. Fotopolimerización.



*Nota (Primer Semana de Ingeniería mecatrónica en Industria 4.0).*

Dentro del taller se pudieron realizar algunas piezas con la impresora 3D para ver el funcionamiento y los parámetros que deberá tener la pieza para su fabricación, esto con respecto a la pieza fabricada en Solid Word y cargada en la maquina tridimensional, destacó la maestra Yesenia De León.

## DISCUSIÓN.

En esta semana donde se pudo comprender lo que es la inteligencia artificial IA, la importancia dentro de la industria y la sociedad; se explicaron las principales ventajas y desafíos, para el uso de estas nuevas tecnologías, que ayuda a ser más productivos los procesos, mejorar el uso de procesar una gran cantidad de datos, que en la actualidad era muy complicado, para tomar decisiones sobre esta cantidad de información, asimismo se les comentó sobre la importancia de utilizar la inteligencia artificial de forma responsable y ética. En conclusión, la inteligencia artificial representa una herramienta con gran potencial para el futuro, siempre que su desarrollo y uso estén orientados al beneficio de las personas y la sociedad.

## RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron en **la Primer Semana de Ingeniería Mecatrónica en Industria 4.0(COAH-2025-C25-E019)** y el **(Concejo Estatal de Ciencia y Tecnología) COECYT**, de acuerdo a las conferencias y talleres desarrollados; es muy importante para los cuerpos académicos de Mecatrónica que los alumnos tengan capacitaciones y visitas a reconocidas industrias de la región o proveedores industriales, que tiene un historial en la automatización reconocido por los empresarios; dentro de las conferencias que se llevaron, se conoció que la automatización y la inteligencia Artificial, ya tenía algunos años utilizándose en países de Europa, con tecnologías que retroalimentaban por medio de algoritmos a la maquinaria, para restablecer parámetros y que la producción tenga menores errores o Scrap. En las visitas a expo manufactura 2026 en Cintermex, se conoció la nueva automatización de la industria 4.0 y la Inteligencia Artificial, así como la forma de programar celdas de manufactura enfocadas a la industria 4.0 y maquinaria de CNC. Todo lo desarrollado para el aprendizaje de los alumnos de mecatrónica fue el resultado de una semana exitosa y cumplió con el objetivo planteado para COECYT.

## BIBLIOGRAFÍA

Festo . (12 de Junio de 2024). [https://www.festo.com/mx/es/e/asistencia-tecnica-id\\_646900/](https://www.festo.com/mx/es/e/asistencia-tecnica-id_646900/). Obtenido de Festo : <http://Festo.com>  
Industriales, S. d. (septiembre de 2017). [www.industria.ccoo.es](http://www.industria.ccoo.es) [mblanco@industria.ccoo.es](mailto:mblanco@industria.ccoo.es). Obtenido de [www.industria.ccoo.es](http://www.industria.ccoo.es)  
[mblanco@industria.ccoo.es](mailto:mblanco@industria.ccoo.es): chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://industria.ccoo.es/4290fc51a3697f785ba14fce86528e10000060.pdf>  
Laminas y aceros . (03 de Junio de 2026). [WWW.laminasyaceros.com](http://WWW.laminasyaceros.com). Obtenido de [WWW.laminasyaceros.com](http://WWW.laminasyaceros.com):  
[/https://laminasyaceros.com](https://laminasyaceros.com)  
Laminas y Aceros Yucatan . (2026). [www.laminas y a](http://www.laminas y a).  
M.C Carlos Montes Carnero, M. M. (s.f.). Primer Semana de Ingeniería mecatrónica Industria 4.0. *Primer Semana de Ingeniería mecatrónica Industria 4.0*. Universidad Tecnológica de Coahuila, Ramos Arizpe, Coahuila.

### Tabla de Figuras.

**Figura 1. Primera semana de Ingeniería Mecatrónica e Industria 4.0.**

**Figura 2. Inauguración.**

**Figura 3. Panel de egresados.**

**Figura 4. El futuro es colaborativo.**

**Figura 5. Panel de expertos.**

**Figura 6. Como el inglés impulsa tu futuro profesional.**

**Figura 7. Decisiones Financieras Inteligentes**

**Figura 8. Taller Mendix.**

**Figura 9. Taller de Neumática e Hidráulica.**

**Figura 10. Taller de electricidad.**

**Figura 11. Fabricación Aditiva.**

**Figura 12. Fotopolimerización.**

# MODELO DE RED JERÁRQUICA INTERVLAN PARA ENTORNOS HOSPITALARIOS

Wilver Efrén Pérez Asencio<sup>1</sup>.Isaías Hernández Rivera<sup>2</sup>. Ricardo Gómez Crespo<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco/email: [wilverefrenasen@gmail.com](mailto:wilverefrenasen@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco/email: [Isaias.hernandez@ujat.mx](mailto:Isaias.hernandez@ujat.mx)

<sup>3</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco/email: [Isaias.hernandez@ujat.mx](mailto:Isaias.hernandez@ujat.mx)

**Línea de investigación:** Redes e Informática

## RESUMEN

Este trabajo surge de identificar una problemática real en la infraestructura de red del Hospital Médica Tabasco, ubicado en el estado de Tabasco, México. La red con la que cuenta actualmente el hospital es de tipo plana, donde todos los equipos de cómputo de los distintos departamentos comparten un único dominio de broadcast, sin ningún tipo de segmentación lógica ni mecanismo de redundancia. Ante esta situación, se diseñó un modelo de red jerárquica InterVLAN con alta disponibilidad como propuesta de mejora, el cual fue implementado y validado en el simulador Cisco Packet Tracer.

El modelo diseñado integra los tres proveedores de internet con los que cuenta el hospital, ISP TotalPlay e ISP Telmex con dos líneas distintas, directamente en la arquitectura jerárquica mediante tres routers Cisco 1841. Cada uno de estos routers cumple dos funciones al mismo tiempo: realiza el enrutamiento InterVLAN aplicando la técnica Router-on-a-Stick con subinterfaces 802.1Q, y hacen uso del protocolo HSRP para garantizar la redundancia del gateway con tres niveles de prioridad. El router ISP-TOTALPLAY quedó configurado como router activo con prioridad 110 y preempt habilitado, el router ISP-TELMEX-2 como primer respaldo con prioridad 100, y el router ISP-TELMEX-1 como segundo respaldo con prioridad 90. Si el router activo falla, el primer router en standby toma la dirección IP virtual de forma automática, sin que los equipos de cómputo de los usuarios necesiten ningún cambio en su configuración.

Para el direccionamiento se utilizó VLSM sobre la red base 192.168.0.0/16, asignando subredes del tamaño justo para cada departamento: prefijo /27 para las áreas con hasta 30 hosts, /26 para el área administrativa que requiere más capacidad y /28 para la VLAN de gestión de los dispositivos de red. Se crearon diez VLANs, una por cada departamento hospitalario, y se configuró el protocolo troncal 802.1Q en todos los enlaces entre switches para el transporte estructurado de las VLANs. La redundancia interna se garantiza mediante el protocolo STP PVST+ con un enlace en estado Blocking entre los switches de distribución. Las pruebas realizadas en Cisco Packet Tracer confirmaron conectividad InterVLAN entre los 66 dispositivos finales y la correcta activación de los mecanismos de redundancia ante fallos simulados.

*Palabras clave:* disponibilidad, HSRP, red jerárquica, subredes, VLAN, VLSM.

## ABSTRACT

This work arises from identifying a real problem in the network infrastructure of Hospital Medica Tabasco, located in the state of Tabasco, Mexico. The hospital currently operates a flat network where all computers from different departments share a single broadcast domain, with no logical segmentation or redundancy mechanisms. To address this situation, a hierarchical InterVLAN network model with high availability was designed as an improvement proposal, implemented and validated in Cisco Packet Tracer.

The model integrates the hospital three internet service providers through three Cisco 1841 routers performing simultaneous InterVLAN routing via Router-on-a-Stick with 802.1Q subinterfaces and HSRP gateway redundancy with three priority levels. Ten VLANs were created using VLSM with /27, /26 and /28 prefixes. Testing in Cisco Packet Tracer confirmed full InterVLAN connectivity among 66 end devices and correct redundancy activation under simulated failures.

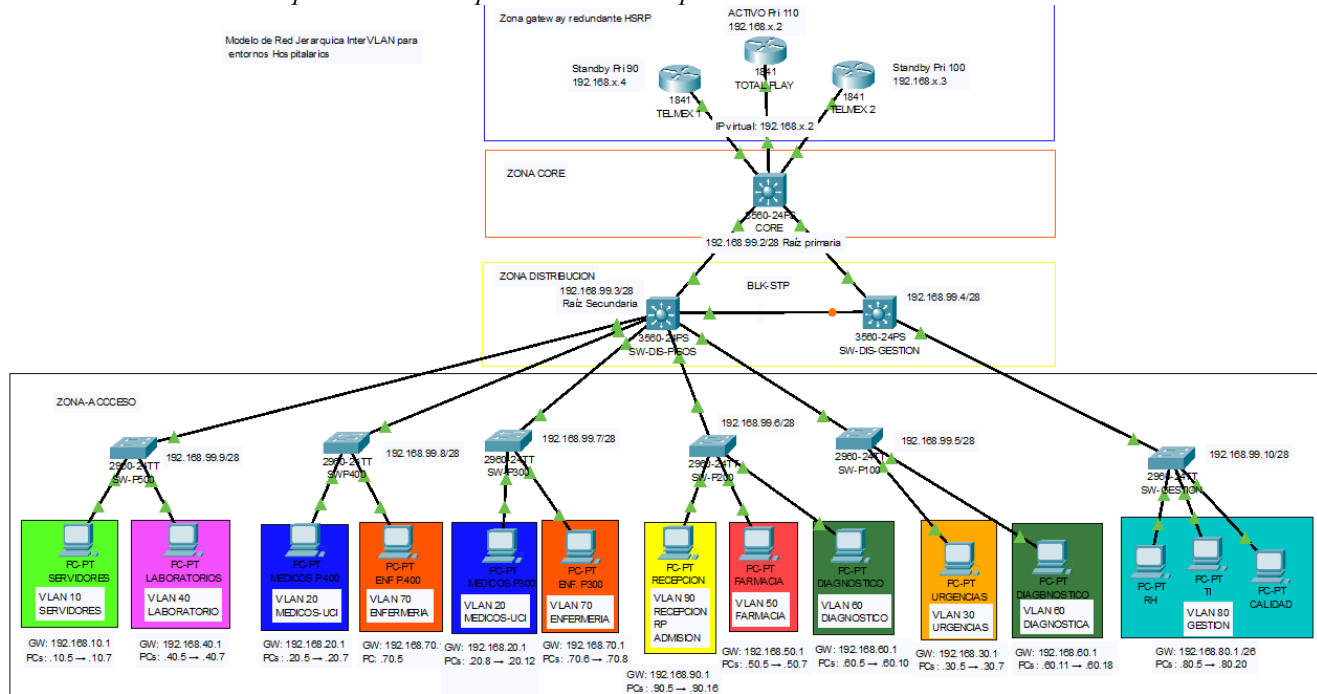
*Keywords:* hierarchical network, high availability, HSRP, InterVLAN routing, subnets, VLAN, VLSM.



Fuente. Elaboración propia (2026).

Para resolver esta problemática se diseñó el modelo de red jerárquica InterVLAN. La Figura 2 muestra el modelo implementado en Cisco Packet Tracer con todas las zonas, VLANs y mecanismos de redundancia funcionando:

**Figura 2** Modelo de Red Jerárquica InterVLAN para Entornos Hospitalarios en Cisco Packet Tracer



Nota. El modelo organiza la red en cuatro zonas diferenciadas con dispositivos especializados por función. Los tres routers ISP se integran en la capa de gateway mediante HSRP y realizan simultáneamente el enrutamiento InterVLAN.

Fuente. Elaboración propia (2026).

La Tabla 1 resume las diferencias entre la red plana actual y el modelo de red jerárquica InterVLAN propuesto:

**Tabla 1** Comparativa entre la Red Plana Actual y el Modelo de Red Jerárquica InterVLAN

Característica	Red plana actual	Modelo jerárquico propuesto
Arquitectura	Plana, un solo dominio de broadcast	Jerárquica de tres capas: core, distribución y acceso
Proveedores ISP	3 ISPs sin integración entre sí	3 ISPs integrados mediante HSRP
Redundancia gateway	Sin respaldo de router	HSRP: TotalPlay activo, Telmex-2 standby 1, Telmex-1 standby 2
Enrutamiento InterVLAN	No existe	Router-on-a-Stick con subinterfaces 802.1Q
Segmentación	Sin VLANs, broadcast global	10 VLANs por departamento hospitalario
Direccionamiento	Red fija 10.0.0.0 sin VLSM	VLSM: /27, /26 y /28 según necesidad de hosts
Protocolo troncal	No configurado	802.1Q con VLAN nativa 99 en todos los enlaces
Subredes	1 subred única	10 subredes independientes por VLAN
Redundancia interna	Sin enlace de respaldo	STP PVST+ con enlace BLK entre distribución
Gestión	Sin gestión remota	VLAN 99 con IP de management por cada switch

*Nota.* La red plana actual no cuenta con ninguno de los elementos del modelo propuesto. El modelo jerárquico InterVLAN incorpora todos los temas de la propuesta en una arquitectura estructurada por capas.

*Fuente.* Elaboración propia (2025).

## OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### Objetivo General

Diseñar y validar mediante simulación en Cisco Packet Tracer un modelo de red jerárquica InterVLAN para el Hospital Médica Tabasco, integrando segmentación por VLANs, enrutamiento InterVLAN, subredes VLSM, protocolo troncal 802.1Q y redundancia de gateway con HSRP, mejorando la segmentación, disponibilidad y organización de la red respecto a la arquitectura plana actual.

### Objetivos Específicos

Se analizo y documento las deficiencias de la red plana actual del Hospital Médica Tabasco, identificando la ausencia de VLANs, que son redes virtuales que permiten segmentar lógicamente una red física en grupos independientes por departamento, reduciendo el tráfico de broadcast y mejorando la seguridad entre áreas críticas como urgencias, laboratorio y administración. Además, Se detecto la falta de enrutamiento InterVLAN, mecanismo que permite la comunicación controlada entre segmentos de red distintos a través de un dispositivo de capa 3, la inexistencia del protocolo troncal 802.1Q, estándar IEEE que transporta el tráfico de múltiples VLANs sobre un mismo enlace físico mediante el etiquetado de tramas, la carencia de un esquema de direccionamiento VLSM, técnica que permite asignar subredes de tamaño variable según la cantidad real de hosts requerida por cada área, y la ausencia de redundancia de gateway mediante HSRP, protocolo que garantiza la disponibilidad de la red ante la falla del router activo transfiriendo automáticamente el rol al router en espera.

Se diseño el modelo de red jerárquica InterVLAN con diez VLANs departamentales sobre el espacio de direccionamiento 192.168.0.0/16, aprovechando que las VLANs permiten aislar lógicamente el tráfico por área funcional del hospital sin modificar la infraestructura física. Se aplico VLSM para asignar subredes de tamaño ajustado a la demanda real de cada departamento, utilizando máscaras /27 para la mayoría de las VLANs y /26 para la de mayor número de hosts, optimizando el uso del espacio de direcciones IP disponible. Se configuro el protocolo troncal 802.1Q en todos los enlaces entre switches de acceso, el switch de núcleo y los routers, permitiendo transportar el tráfico etiquetado de múltiples VLANs sobre un mismo enlace físico. Se implemento el enrutamiento InterVLAN mediante la técnica Router-on-a-Stick, que utiliza subinterfaces lógicas en cada router para procesar y enrutar el tráfico entre VLANs, Se integraron tres routers ISP con HSRP configurado con prioridades 110, 100 y 90, estableciendo un gateway virtual redundante que mantiene la conectividad de la red ante la caída de cualquiera de los routers.

Se implementó y valido el modelo diseñado en Cisco Packet Tracer, verificando la conectividad InterVLAN entre todos los departamentos hospitalarios mediante pruebas de comunicación entre hosts de distintas VLANs, confirmando que el enrutamiento entre segmentos lógicos operaba correctamente. Se comprobó el funcionamiento del protocolo troncal 802.1Q en los enlaces troncales, validando que las tramas etiquetadas con el identificador de cada VLAN se transportaban sin errores entre switches y routers. Se simuló el escenario de falla para confirmar el failover automático de HSRP, verificando que ante la caída del router activo el protocolo transfería el rol de gateway al router en espera de mayor prioridad disponible, garantizando la continuidad del servicio sin intervención manual. Finalmente, Se verifico la reconvergencia del protocolo STP ante la falla del switch de núcleo, comprobando que la topología activa se recalculaba correctamente para mantener la estabilidad y disponibilidad de la red jerárquica propuesta.

## OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es la infraestructura de red de datos del Hospital Médica Tabasco. Se eligió este sistema porque representa un caso real y concreto donde los problemas de una red plana sin segmentación tienen consecuencias directas sobre la operación de una institución de salud. El hospital tiene departamentos con necesidades muy distintas entre sí: la UCI necesita acceso constante a sistemas de monitoreo de pacientes sin interrupciones; urgencias requiere comunicación inmediata con farmacia y laboratorio cuando hay emergencias; y el área administrativa maneja información confidencial que, sin VLANs, viaja por la misma red que el tráfico clínico.

La importancia de dirigir esta propuesta a este sistema radica en que una red hospitalaria no es opcional, es una infraestructura de misión crítica. Stallings (2014) destaca que en entornos donde la interrupción tiene consecuencias operativas graves, el diseño de la red debe contemplar redundancia en múltiples niveles. El modelo de red jerárquica InterVLAN diseñado en este trabajo responde directamente a esa necesidad. Además, el hospital ya cuenta con los tres proveedores de internet necesarios para implementar el modelo HSRP propuesto, lo que hace que la propuesta sea técnicamente viable para una futura implementación física.

## *METODOLOGÍA*

Para el desarrollo del modelo de red jerárquica InterVLAN se utilizó la metodología de desarrollo tecnológico en cascada descrita por Pressman (2010), la cual organiza el trabajo en fases secuenciales donde cada etapa produce resultados concretos que alimentan la siguiente. Esta metodología fue seleccionada porque el proyecto tiene requerimientos técnicos bien definidos desde el análisis inicial: se sabe con certeza qué departamentos existen, cuántos hosts necesita cada uno, qué dispositivos Cisco están disponibles en el simulador y qué protocolos se van a utilizar. La incertidumbre es mínima, lo que hace que el modelo en cascada sea más adecuado que metodologías iterativas como SCRUM, que son más apropiadas cuando los requerimientos cambian constantemente.

El enfoque metodológico es mixto. La parte cualitativa corresponde al análisis y diagnóstico de la red plana actual, donde se identifica y describe la problemática mediante observación directa de la topología. La parte cuantitativa corresponde a la validación en Cisco Packet Tracer, donde se registran métricas concretas: número de dominios de broadcast generados, cantidad de hosts por subred, direcciones IP utilizadas y disponibles en cada VLAN, y estado del protocolo HSRP en los tres routers. Las siete fases del desarrollo se describen en la sección siguiente.

## *FASES DEL DESARROLLO*

### **Fase 1. Análisis y Diagnóstico de la Red Actual**

El primer paso fue analizar la red actual del hospital para entender qué tenía y qué le faltaba. Se identificó que la red opera con la dirección 10.0.0.0 en una topología plana con un único switch de capa dos como dispositivo central. No existe ninguna configuración de VLANs, protocolo troncal ni enrutamiento entre departamentos. Los tres ISPs disponibles, TotalPlay y Telmex con dos líneas distintas, están conectados de forma independiente sin integración mediante ningún protocolo de redundancia, por lo que si el router principal falla, toda la red pierde acceso a internet sin recuperación automática. Esto confirmó la necesidad de diseñar un modelo estructurado con redundancia en múltiples niveles.

El diagnóstico confirmó que el switch central es un dispositivo no administrable, es decir, sin interfaz de configuración ni soporte para VLANs, por lo que toda la red opera como un único dominio de broadcast plano. Esta limitación, evidenciada mediante inspección física y revisión de la documentación de red existente, fue el principal argumento técnico para justificar la migración hacia un modelo jerárquico con switches administrables capaces de soportar VLANs, troncal 802.1Q y enrutamiento InterVLAN.

### **Fase 2. Diseño de la Topología Jerárquica y Plan VLSM**

Una vez documentada la problemática, se procedió a diseñar el modelo de red jerárquica InterVLAN. La topología se organizó en tres capas: core con el SW-CORE Cisco 3560-24PS, distribución con SW-DIS-PISOS y SW-DIS-GESTION ambos 3560-24PS, y acceso con seis switches Cisco 2960-24TT. Por encima del core se colocaron los tres routers Cisco 1841 representando los ISPs, conectados directamente al SW-CORE mediante enlaces FastEthernet.

Para el plan de direccionamiento se aplicó VLSM sobre la red base 192.168.0.0/16. En cada subred se reservaron las primeras cuatro direcciones para los dispositivos de red: la dirección .1 para la IP virtual HSRP que es el gateway de los equipos de cómputo, la dirección .2 para ISP-TOTALPLAY, la dirección .3 para ISP-TELMEX-2 y la dirección .4 para ISP-TELMEX-1. Los dispositivos finales de cada departamento empiezan a numerarse desde la dirección .5. La Tabla 2 muestra el plan VLSM completo:

**Tabla 2***Plan de Direccionamiento VLSM con Subredes y Gateway HSRP por Departamento*

VLAN	Nombre	Red / Prefijo	GW HSRP	PCs desde	Hosts	Máscara
10	SERVIDORES	192.168.10.0/27	192.168.10.1	192.168.10.5	30	/27
20	UCI_MEDICOS	192.168.20.0/27	192.168.20.1	192.168.20.5	30	/27
30	URGENCIAS	192.168.30.0/27	192.168.30.1	192.168.30.5	30	/27
40	LABORATORIO	192.168.40.0/27	192.168.40.1	192.168.40.5	30	/27
50	FARMACIA	192.168.50.0/27	192.168.50.1	192.168.50.5	30	/27
60	DIAGNOSTICO	192.168.60.0/27	192.168.60.1	192.168.60.5	30	/27
70	ENFERMERIA	192.168.70.0/27	192.168.70.1	192.168.70.5	30	/27
80	ADMINISTRATIVA	192.168.80.0/26	192.168.80.1	192.168.80.5	62	/26
90	RECEPCION	192.168.90.0/27	192.168.90.1	192.168.90.5	30	/27
99	MANAGMENT	192.168.99.0/28	192.168.99.1	—	14	/28

*Nota. Se asignó prefijo /27 a nueve VLANs con hasta 30 hosts, /26 al área administrativa que requiere mayor capacidad y /28 a la VLAN 99 de gestión de dispositivos de red.*

*Fuente. Elaboración propia (2025).*

La Tabla 3 describe los dispositivos del modelo con la función específica de cada uno en la arquitectura jerárquica:

**Tabla 3***Dispositivos del Modelo de Red Jerárquica InterVLAN y sus Funciones por Capa*

Capa	Dispositivo	Modelo	Función
Gateway/ISP	ISP-TOTALPLAY	Router 1841	HSRP Activo, Priority 110, preempt, Router-on-a-Stick
Gateway/ISP	ISP-TELMEX-2	Router 1841	HSRP Standby, Priority 100, primer respaldo de gateway
Gateway/ISP	ISP-TELMEX-1	Router 1841	HSRP Standby, Priority 90, segundo respaldo de gateway
Core	SW-CORE	Cisco 3560-24PS	Raíz STP primaria, priority 24576, cost 4 en Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3
Distribución	SW-DIS-PISOS	Cisco 3560-24PS	Raíz STP secundaria, agrega switches de acceso por piso
Distribución	SW-DIS-GESTION	Cisco 3560-24PS	Agrega switches del área administrativa
Acceso	SW-P100 a SW-P500	Cisco 2960-24TT	Conectividad a dispositivos finales por piso hospitalario
Acceso	SW-GESTION	Cisco 2960-24TT	Conectividad área administrativa, VLAN 80 Administrativa

*Nota. Cada dispositivo tiene una función específica determinada por la capa en la que se ubica. Los routers ISP son los únicos que realizan dos funciones simultáneamente: enrutamiento InterVLAN y redundancia de gateway mediante HSRP.*

*Fuente. Elaboración propia (2025).*

Como parte del diseño, se estableció la nomenclatura de hostnames y direccionamiento de gestión que se aplicaría a cada dispositivo durante la fase de configuración:

```
Switch> enable
Switch# configure terminal
Switch(config)# hostname SW-CORE
SW-CORE(config)# interface vlan 99
SW-CORE(config-if)# ip address 192.168.99.2 255.255.255.240
SW-CORE(config-if)# no shutdown
```

### Fase 3. Configuración del Protocolo Troncal 802.1Q y VLANs

Se crearon las diez VLANs en los switches de core y distribución con nombres descriptivos para cada departamento. Todos los enlaces entre switches se configuraron como troncales con el protocolo 802.1Q, que es el estándar para transportar múltiples VLANs en un mismo enlace físico. En los switches Cisco 3560-24PS fue necesario ejecutar primero el comando 'switchport trunk encapsulation dot1q' antes de configurar el modo trunk, a diferencia de los Cisco 2960-24TT que no requieren este paso previo. La VLAN nativa 99 se configuró en todos los troncales para el tráfico de gestión. Los puertos de acceso en los switches 2960-24TT recibieron configuración de PortFast para reducir el tiempo de convergencia STP.

La creación de las VLANs y la configuración troncal en el SW-CORE se realizó con la siguiente secuencia de comandos:

```
SW-CORE(config)# vlan 10
SW-CORE(config-vlan)# name SERVIDORES
SW-CORE(config-vlan)# vlan 20
SW-CORE(config-vlan)# name UCI_MEDICOS
SW-CORE(config-vlan)# vlan 80
SW-CORE(config-vlan)# name ADMINISTRATIVA
SW-CORE(config-vlan)# vlan 99
SW-CORE(config-vlan)# name MANAGEMENT
SW-CORE(config-vlan)# exit
SW-CORE(config)# interface range fa0/1 - 3
SW-CORE(config-if-range)# switchport trunk encapsulation dot1q
SW-CORE(config-if-range)# switchport mode trunk
SW-CORE(config-if-range)# switchport trunk native vlan 99
```

En los switches de acceso 2960-24TT, los puertos destinados a equipos finales se configuraron en modo acceso con PortFast:

```
SW-P100(config)# interface range fa0/1 - 24
SW-P100(config-if-range)# switchport mode access
SW-P100(config-if-range)# switchport access vlan 20
SW-P100(config-if-range)# spanning-tree portfast
```

### Fase 4. Configuración del Enrutamiento InterVLAN mediante Router-on-a-Stick

El enrutamiento InterVLAN se implementó en los tres routers Cisco 1841 mediante la técnica Router-on-a-Stick. Esta técnica consiste en conectar el router al switch mediante un único enlace físico FastEthernet y crear una subinterfaz lógica por cada VLAN que se quiere enrutar. Cada subinterfaz se configura con la encapsulación 802.1Q del número de VLAN correspondiente y la dirección IP real del router en esa subred. De esta manera, un solo enlace físico transporta el tráfico de las diez VLANs, lo que simplifica el cableado de la topología sin perder funcionalidad de enrutamiento.

En el router ISP-TOTALPLAY se configuraron las subinterfaces correspondientes a cada VLAN, asignando la dirección .2 de cada subred según la convención establecida:

```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# hostname ISP-TOTALPLAY
ISP-TOTALPLAY(config)# interface fa0/0
ISP-TOTALPLAY(config-if)# no shutdown
ISP-TOTALPLAY(config-if)# exit
ISP-TOTALPLAY(config)# interface fa0/0.10
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# encapsulation dot1q 10
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# ip address 192.168.10.2 255.255.255.224
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# exit
ISP-TOTALPLAY(config)# interface fa0/0.99
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# encapsulation dot1q 99 native
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# ip address 192.168.99.2 255.255.255.240
```

### Fase 5. Configuración del Protocolo HSRP

El protocolo HSRP se configuró en los tres routers para que compartan una IP virtual por VLAN, que es la dirección que los equipos de cómputo tienen configurada como gateway. De esta forma, si el router activo falla, el siguiente router en prioridad toma esa IP virtual automáticamente y los usuarios no pierden la conectividad ni necesitan cambiar nada en su equipo. Se establecieron tres niveles de prioridad: ISP-TOTALPLAY activo con prioridad 110 y preempt habilitado para que recupere el control cuando vuelva en línea, ISP-TELMEX-2 con prioridad 100 como primer respaldo, e ISP-TELMEX-1 con prioridad 90 como segundo respaldo. La Tabla 4 muestra la configuración HSRP completa por VLAN:

**Tabla 4**

*Configuración HSRP por VLAN — IPs de los Tres Routers ISP y Prioridades*

VLAN	IP Virtual	ISP-TOTALPLAY	ISP-TELMEX-2	ISP-TELMEX-1	Prioridad	Máscara
10	192.168.10.1	192.168.10.2	192.168.10.3	192.168.10.4	110/100/90	/27
20	192.168.20.1	192.168.20.2	192.168.20.3	192.168.20.4	110/100/90	/27
30	192.168.30.1	192.168.30.2	192.168.30.3	192.168.30.4	110/100/90	/27
40	192.168.40.1	192.168.40.2	192.168.40.3	192.168.40.4	110/100/90	/27
50	192.168.50.1	192.168.50.2	192.168.50.3	192.168.50.4	110/100/90	/27
60	192.168.60.1	192.168.60.2	192.168.60.3	192.168.60.4	110/100/90	/27
70	192.168.70.1	192.168.70.2	192.168.70.3	192.168.70.4	110/100/90	/27
80	192.168.80.1	192.168.80.2	192.168.80.3	192.168.80.4	110/100/90	/26
90	192.168.90.1	192.168.90.2	192.168.90.3	192.168.90.4	110/100/90	/27
99	192.168.99.1	192.168.99.11	192.168.99.12	192.168.99.13	110/100/90	/28

*Nota. La IP virtual permanece constante, aunque cambie el router activo, lo que garantiza que los equipos de cómputo no pierdan conectividad ante fallos del router principal.*

*Fuente. Elaboración propia (2026).*

La configuración de HSRP para la VLAN 10 en el router activo ISP-TOTALPLAY, incluyendo prioridad y preempt, se realizó de la siguiente manera:

```
ISP-TOTALPLAY(config)# interface fa0/0.10
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# standby 10 ip 192.168.10.1
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# standby 10 priority 110
ISP-TOTALPLAY(config-subif)# standby 10 preempt
```

En el router de respaldo ISP-TELMEX-2, la misma VLAN se configuró con prioridad menor para que actúe como standby:

```
ISP-TELMEX-2(config)# interface fa0/0.10
ISP-TELMEX-2(config-subif)# standby 10 ip 192.168.10.1
ISP-TELMEX-2(config-subif)# standby 10 priority 100
```

### Fase 6. Configuración de STP PVST+ y Enlace Redundante

El protocolo STP PVST+ se configuró designando al SW-CORE como raíz primaria con prioridad 24576 para todas las VLANs. A los puertos FastEthernet del SW-CORE que conectan hacia los tres routers se les asignó un costo STP de valor cuatro, para evitar que STP los bloquee debido a la diferencia de velocidad con los puertos GigabitEthernet que conectan hacia los switches de distribución. El enlace entre SW-DIS-PISOS y SW-DIS-

GESTION opera en estado Blocking durante el funcionamiento normal de la red, y se activa automáticamente cuando el SW-CORE falla, garantizando que la red de distribución no quede partida.

La designación de raíz primaria y el ajuste de costo STP en los puertos hacia los routers ISP se configuraron en el SW-CORE de la siguiente forma:

```
SW-CORE(config)# spanning-tree vlan 1-99 priority 24576
SW-CORE(config)# interface range fa0/1 - 3
SW-CORE(config-if-range)# spanning-tree cost 4
```

En SW-DIS-PISOS se configuró una prioridad mayor para operar como raíz secundaria, dejando el enlace redundante hacia SW-DIS-GESTION listo para activarse ante una falla:

```
SW-DIS-PISOS(config)# spanning-tree vlan 1-99 priority 28672
```

### Fase 7. Configuración de Dispositivos Finales y Verificación

Se configuraron 66 dispositivos finales PC-PT distribuidos en los seis switches de acceso, con dirección IP estática, máscara de subred, gateway igual a la IP virtual HSRP de su VLAN y DNS igual al gateway. Las VLANs 20, 60 y 70 tienen dispositivos en dos switches de acceso distintos, con IPs que continúan en secuencia entre switches para evitar duplicados. La verificación se realizó con el comando 'show standby brief' para confirmar el estado HSRP, 'show interfaces trunk' para confirmar los troncales 802.1Q y pruebas de ping entre VLANs distintas para confirmar el enrutamiento InterVLAN. La Figura 3 muestra el resultado de la verificación HSRP:

**Figura 3**

Verificación del Protocolo HSRP en ISP-TOTALPLAY — Estado Activo en las Diez VLANs

```
ISP-TOTALPLAY>en
ISP-TOTALPLAY#show standby brief
                P indicates configured to preempt.
                |
Interface      Grp  Pri P State   Active      Standby      Virtual IP
Fa             10  110 P Active  local       192.168.10.3 192.168.10.1
Fa             20  110 P Active  local       192.168.20.3 192.168.20.1
Fa             30  110 P Active  local       192.168.30.3 192.168.30.1
Fa             40  110 P Active  local       192.168.40.3 192.168.40.1
Fa             50  110 P Active  local       192.168.50.3 192.168.50.1
Fa             60  110 P Active  local       192.168.60.3 192.168.60.1
Fa             70  110 P Active  local       192.168.70.3 192.168.70.1
Fa             80  110 P Active  local       192.168.80.3 192.168.80.1
Fa             90  110 P Active  local       192.168.90.3 192.168.90.1
Fa            99  110 P Active  local       192.168.99.12 192.168.99.1
ISP-TOTALPLAY#
```

*Nota.* El comando `show standby brief` confirma que ISP-TOTALPLAY es el router activo en las diez VLANs con prioridad 110, y que ISP-TELMEX-2 está correctamente identificado como router standby.

*Fuente.* Elaboración propia (2026).

La configuración de IP en un equipo final (PC-PT) de la VLAN 20 y los comandos de verificación finales utilizados en los dispositivos de red se muestran a continuación:

```
PC> ipconfig 192.168.20.5 255.255.255.224 192.168.20.1
```

```
ISP-TOTALPLAY# show standby brief
```

```
SW-CORE# show interfaces trunk
```

```
PC> ping 192.168.30.5
```

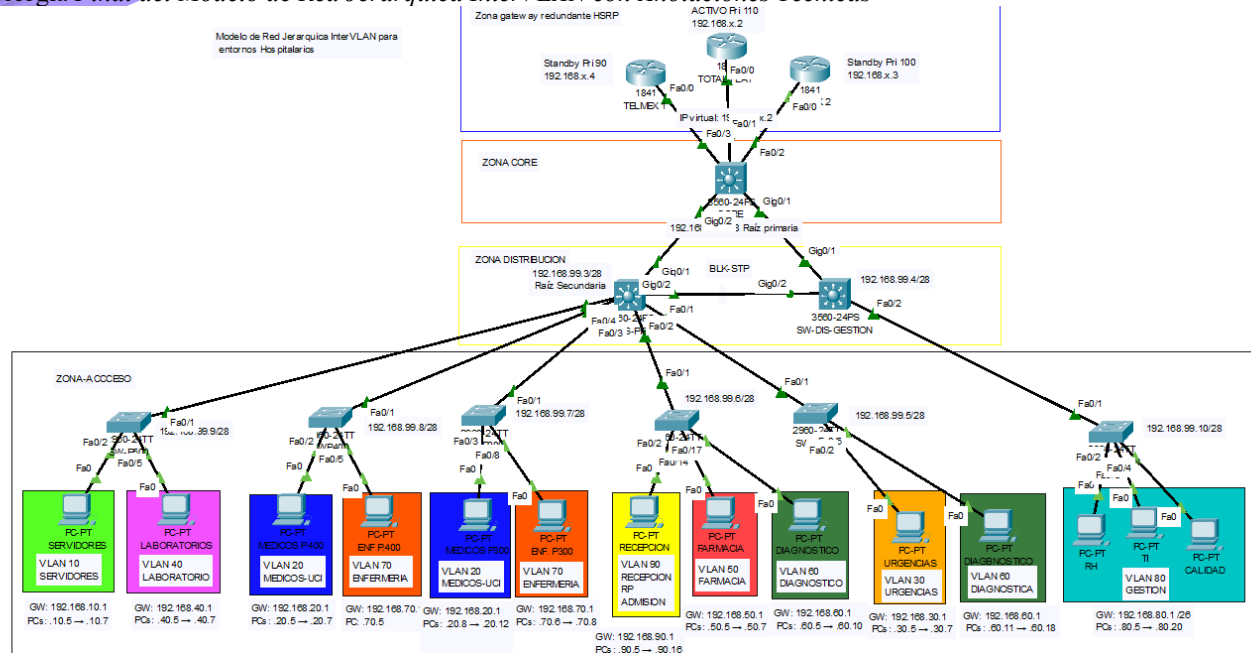
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el entorno de Red simulado demuestran que el modelo de red jerárquica InterVLAN funciona correctamente para el entorno hospitalario propuesto. Las pruebas de ping entre dispositivos de VLANs distintas fueron exitosas en todos los casos, confirmando que el enrutamiento InterVLAN mediante Router-on-a-Stick con subinterfaces 802.1Q opera sin problemas entre los diez departamentos. El protocolo HSRP mostró estado Active en ISP-TOTALPLAY con prioridad 110 para las diez VLANs, y los routers ISP-TELMEX-2 e ISP-TELMEX-1 en estado Standby con prioridades 100 y 90 respectivamente. Al simular la caída del router activo, ISP-TELMEX-2 tomó la IP virtual automáticamente en pocos segundos, sin interrumpir la conectividad de los equipos de cómputo.

Uno de los aspectos más relevantes del diseño es que los tres routers ISP realizan simultáneamente el enrutamiento InterVLAN y la redundancia de gateway, sin necesidad de dispositivos adicionales. Esto simplifica la topología y reduce costos de implementación respecto a diseños donde estas funciones recaen en dispositivos separados. La aplicación de VLSM permitió asignar subredes del tamaño exacto a cada departamento: 30 hosts en nueve VLANs con prefijo /27, 62 hosts en el área administrativa con prefijo /26 y 14 hosts en la VLAN de gestión con prefijo /28, utilizando el espacio de direccionamiento de forma eficiente sin desperdicio. Lammle (2016) señala que el VLSM es una práctica fundamental en el diseño de redes escalables porque evita el agotamiento prematuro del espacio de direcciones.

La reducción de un único dominio de broadcast a diez dominios independientes es quizás la mejora más significativa desde el punto de vista del rendimiento. El tráfico broadcast generado por cualquier equipo, en lugar de llegar a los 66 dispositivos de toda la red, ahora solo llega a los equipos del mismo departamento, que en la mayoría de los casos son entre tres y 16 dispositivos. Esto reduce considerablemente el tráfico innecesario en toda la infraestructura. La Figura 4 muestra la topología final del modelo con todas las anotaciones técnicas:

**Figura 4** Topología Final del Modelo de Red Jerárquica InterVLAN con Anotaciones Técnicas



*Nota.* La topología final integra los cuatro elementos del modelo: VLANs por departamento, enrutamiento InterVLAN, protocolo troncal 802.1Q, subredes VLSM y redundancia HSRP con tres niveles de prioridad.

*Fuente.* Elaboración propia (2026).

## CONCLUSIÓN

El modelo de red jerárquica InterVLAN para entornos hospitalarios diseñado en este trabajo demuestra que es posible transformar una red plana sin segmentación en una infraestructura estructurada, segura y con alta disponibilidad, utilizando los recursos de hardware con los que ya cuenta el Hospital Médica Tabasco. La integración de los tres ISPs mediante HSRP resuelve el problema de la falta de redundancia de gateway que tenía la red original, garantizando que si cualquiera de los routers falla, la red continúa operando sin intervención manual. La creación de diez VLANs con enrutamiento InterVLAN aísla el tráfico de los departamentos clínicos del administrativo, mejorando la seguridad y el rendimiento de la red.

El uso de VLSM con subredes independientes por departamento y el protocolo troncal 802.1Q en todos los enlaces entre switches le da al modelo una base de direccionamiento ordenada y escalable, donde agregar un nuevo departamento en el futuro implica únicamente crear una nueva VLAN y asignarle una subred del espacio disponible en la red 192.168.0.0/16. El protocolo STP PVST+ con el enlace redundante entre los switches de distribución garantiza que la red de acceso no quede partida si el switch de núcleo falla, completando así los tres niveles de redundancia del modelo: gateway mediante HSRP, enlace interno mediante STP y múltiples ISPs.

Como trabajo futuro, se propone la implementación física del modelo en la infraestructura real del hospital, incorporando listas de control de acceso para reforzar el aislamiento entre VLANs sensibles como la UCI y el área administrativa, y políticas de calidad de servicio para priorizar el tráfico de aplicaciones médicas críticas sobre el tráfico administrativo general.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cisco Systems. (2014). *Campus Network for High Availability Design Guide*. Recuperado de [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/Campus\\_Design\\_Best\\_Practices.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/Campus_Design_Best_Practices.html) (párr. 1)
- Lammle, T. (2016). *CCNA Routing and Switching Complete Study Guide* (2a ed.). Sybex. (p. 445)
- Pressman, R. S. (2010). *Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico* (7a ed.). McGraw-Hill. (p. 39)
- Stallings, W. (2014). *Comunicaciones y Redes de Computadores* (10a ed.). Pearson Prentice Hall. (p. 512)
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). *Redes de Computadoras* (5a ed.). Pearson Prentice Hall. (p. 317)

