



# Investigación en los cuerpos académicos **e Indicadores educativos**

2022

Coordinadores  
Elizabeth González Valenzuela  
Laura Elisa Gassós Ortega  
René Daniel Fornés Rivera



# Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos

Coordinadores

Elizabeth González Valenzuela

Laura Elisa Gassós Ortega

René Daniel Fornés Rivera



2022, Instituto Tecnológico de Sonora.  
5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro,  
Ciudad Obregón, Sonora, México; 85000  
Web: [www.itson.mx](http://www.itson.mx)  
Email: [rectoria@itson.mx](mailto:rectoria@itson.mx)  
Teléfono: (644) 410-90-00

Primera edición, 2022  
ISBN: 978-607-609-232-3

#### **Edición literaria**

María de Jesús Cabrera Gracia

#### **Tecnología y diseño**

Alejandro Ayala Rodríguez  
Marisol Cota Reyes

#### **Gestión editorial**

Oficina de Publicaciones ITSON

Hecho en México



**OFICINA DE  
PUBLICACIONES  
ITSON**

Se prohíbe la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del Instituto Tecnológico de Sonora.

#### **Cómo citar un capítulo de este libro (ejemplo de capítulo I):**

Cira, L., Gassós, L., De los Santos, S. y Estrada, M. (2022). Remoción de colorantes por cepas halófilas aisladas de suelos salinos. En E. González, L. Gassós y R. Fornés (Comp.). Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos (pp. 11-19). México: ITSON.

# Directorio

---

**Dr. Jesús Héctor Hernández López**  
Rector del Instituto Tecnológico de Sonora

**Dr. Ernesto Uriel Cantú Soto**  
Secretaría de la Rectoría

**Dr. Jaime Garatuza Payán**  
Vicerrectoría Académica

**Dr. Rodolfo Valenzuela Reynaga**  
Vicerrectoría Administrativa

**Dra. María Elvira López Parra**  
Dirección Académica de Ciencias Económico-Administrativas

**Dr. Armando Ambrosio López**  
Dirección Académica de Ingeniería y Tecnología

**Dr. Pablo Gortares Moroyoqui**  
Dirección Académica de Recursos Naturales

**Dra. Guadalupe de la Paz Ross Argüelles**  
Dirección Académica de Ciencias Sociales y Humanidades

**Mtro. Mauricio López Acosta**  
Dirección Unidad Navojoa

**Dr. Humberto Aceves Gutiérrez**  
Dirección Unidad Guaymas

## **Consejo Dictaminador de Ponencias**

---

Dra. Ana Laura Miranda Romero  
Dra. María Paz Guadalupe Acosta Quintana  
Dr. Alfredo Bueno Solano  
Dr. Joel Angulo Armenta  
Dr. Miguel Angel Bernal Reza  
Dr. José Clemente Leyva Corona  
Dra. Mirsha Alicia Sotelo Castillo  
Dra. Dora Yolanda Ramos Estrada  
Dr. Sergio De Los Santos Villalobos  
Dr. Oswaldo Alberto Madrid Moreno  
Dr. Sergio Ochoa Jiménez  
Dra. Lorena Márquez Ibarra  
Dr. Carlos Martín Aguilar Trejo  
Dra. Grace Marlene Borboa Rojas  
Dr. René Daniel Fornés Rivera  
Dr. Rafael Alfonso Figueroa Díaz  
Dra. Laura Violeta Cota Valenzuela  
Dra. Diana Mejía Cruz  
Dra. Luz Alicia Galvan Parra

## **Comité Técnico Científico**

---

Mtra. Elizabeth González Valenzuela  
Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega  
Lic. María de Jesús Cabrera Gracia

# Índice

---

Directorio .....	4
Consejo Dictaminador de Ponencias.....	5
Comité Técnico Científico .....	5
Prólogo.....	9
Sección 1: Investigación en los cuerpos académicos .....	10
<b>Capítulo 1</b>	
<i>Remoción de colorantes por cepas halófilas aisladas de suelos salinos</i> .....	11
<i>Luis Alberto Cira Chávez</i>	
<i>Laura Elisa Gassós Ortega</i>	
<i>Sergio de los Santos Villalobos</i>	
<i>María Isabel Estrada Alvarado</i>	
<b>Capítulo 2</b>	
<i>Plan de acciones de RSE para una empresa manufacturera de arneses eléctricos</i> .....	20
<i>Julio César López Figueroa</i>	
<i>René Daniel Fornés Rivera</i>	
<i>Adolfo Cano Carrasco</i>	
<i>Moisés Ricardo Larios Ibarra</i>	
<b>Capítulo 3</b>	
<i>Monitoreo de un nicho perenne para polinizadores en el cultivo de papa y hortalizas en malla sombra, en el Valle del Yaqui, Sonora</i> .....	33
<i>Maritza Arellano Gil</i>	
<i>Catalina Mungarro Ibarra</i>	
<i>José Luis Martínez Carrillo</i>	
<i>Abel Alberto Verdugo Fuentes</i>	
<b>Capítulo 4</b>	
<i>Generador y analizador de señales PWM para la evaluación de máquinas hidráulicas</i> .....	45
<i>Adolfo Espinoza Ruiz</i>	
<i>Pablo Limón López</i>	
<i>Erica Cecilia Ruiz Ibarra</i>	
<i>Joaquín Mass Sánchez</i>	

<b>Capítulo 5</b>	
<i>Diseño de un algoritmo de localización en un escenario en 3D</i> .....	<b>56</b>
<i>Joaquín Mass Sánchez</i>	
<i>Érica Cecilia Ruiz Ibarra</i>	
<i>Adolfo Espinoza Ruiz</i>	
<i>Gilberto Borrego Soto</i>	
<b>Capítulo 6</b>	
<i>Técnica de prototipado rápido de Filtros FIR en FPGAs</i> .....	<b>71</b>
<i>Eduardo Romero Aguirre</i>	
<i>Darcy Daniela Flores Nieblas</i>	
<i>José Antonio Urias Mazoraqui</i>	
<b>Capítulo 7</b>	
<i>Identificación básica de riesgos ergonómicos en puestos de trabajo con PVD</i> .....	<b>84</b>
<i>Rosa María Curiel Morales</i>	
<i>Claudia Álvarez Bernal</i>	
<i>Luis Fernando Olachea Parra</i>	
<i>Francisco Javier Soto Valenzuela</i>	
<b>Capítulo 8</b>	
<i>Retos y oportunidades en la academia de teoría de control</i> .....	<b>97</b>
<i>José Manuel Campoy Salguero</i>	
<i>Adolfo Soto Cota</i>	
<i>Pablo Alberto Limón Leyva</i>	
<i>Juan José Padilla Ybarra</i>	
<b>Sección 2: Indicadores educativos</b> .....	<b>108</b>
<b>Capítulo 9</b>	
<i>Estrategias para mejorar indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, de cohortes generacionales</i> .....	<b>109</b>
<i>Dilcia Janeth Téllez García</i>	
<i>Juan Josué Ezequiel Morales Cervantes</i>	
<i>María del Carmen Zazueta Alvarado</i>	
<b>Resumen 1</b>	
<i>Nivel de satisfacción estudiantil en la impartición del laboratorio de química básica</i> .....	<b>123</b>
<i>Alberto Verdugo Fuentes</i>	
<i>Olga Haydeé Gómez Ibarra</i>	
<i>Jonathan Rojas Padilla</i>	
<i>Leticia Valenzuela Gómez</i>	

**Resumen 2**

*Evaluación de la satisfacción académica de estudiantes del Laboratorio de Microbiología General*..... 125

*Andrés Francisco Chávez Almanza*

*Jonathan Rojas Padilla*

*Ernesto Uriel Cantú Soto*

# Prólogo

---

El Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) se caracteriza por la integración de sólidos Cuerpos Académicos, los cuales son un equipo de profesores-investigadores con líneas de estudio, objetivos y metas afines, con el fuerte compromiso de generar y/o aplicar conocimientos de vanguardia para mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad. Aunado a esto, el alto nivel de especialización de sus integrantes tiene un impacto positivo y significativo en la educación integral de nuestra comunidad estudiantil, entendiéndose como un modelo de enseñanza que se caracteriza por la integración de diversas habilidades, tales como: sociales, intelectuales, profesionales y humanas.

En ese sentido, la presente obra intitulada *Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos*, tiene como objetivo divulgar los trabajos desarrollados en *Cuerpos Académicos* de nuestra institución. Estas contribuciones han sido agrupadas en dos secciones: *Investigación en los cuerpos académicos*, la cual contiene ocho trabajos relacionados a temas biotecnológicos, ingenieriles, ergonómicos, matemáticos, agronómicos, docentes y de bioprocesos, entre otros; e *Indicadores educativos*, integrada por tres estudios enfocados en índices de aprovechamiento académico de nuestros y nuestras estudiantes, tanto en clases teóricas como en los laboratorios.

El ITSON está plenamente convencido que la divulgación de los trabajos realizados en los Cuerpos Académicos contribuye positivamente a la generación y consolidación de conocimientos de vanguardia, así como a fomentar nuevas colaboraciones transdisciplinarias y fortalecer aquellas existentes. Lo anterior, nos permite entender de manera holística los fenómenos estudiados, que han resultado del análisis de las necesidades en la región y en México. Estos enfoques han potenciado, no solamente la generación de conocimientos relevantes en las áreas de estudio, sino también la formación y fortalecimiento integral de nuestra comunidad de estudiantes y académica-científica, con capacidad crítica, creativa y con un fuerte compromiso para afrontar los retos que demanda nuestra sociedad.

Dr. Sergio de los Santos Villalobos  
Profesor Investigador  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Junio, 2022

# Sección 1: Investigación en los cuerpos académicos



# Capítulo 1

## Remoción de colorantes por cepas halófilas aisladas de suelos salinos

Luis Alberto Cira Chávez  
Laura Elisa Gassós Ortega  
Sergio de los Santos Villalobos  
María Isabel Estrada Alvarado

### Resumen

Una de las problemáticas ambientales son los contaminantes provenientes de la industria textil, estos representan una carga tóxica en el ambiente acuático, teniendo un impacto en la economía de este sector. Se buscan alternativas a tratamientos fisicoquímicos para el cuidado del medio ambiente, por lo que el objetivo de este trabajo es estudiar la remoción del colorante rojo 81 por microorganismos halófilos aislados de suelos salinos. Se probaron seis cepas aisladas de ambientes salinos y se realizaron cinéticas de remoción del colorante para demostrar la capacidad de cepas halófilas de remover dicho contaminante, se encontraron dos cepas de bacterias halófilas (17 y M2P) capaces de remover hasta el 80% del colorante, representando una alternativa para el tratamiento de efluentes textiles por procesos biológicos.

Palabras claves: colorantes, halófilas, remoción

### Introducción

El uso de colorantes textiles se remonta desde los años ochenta donde Henry Perkin descubre el primer colorante sintético con resistencia química, con capacidad de absorción de luz, agua y agentes oxidantes. A partir del siglo diecinueve se incrementó el uso de colorantes textiles debido a la revolución industrial hasta la actualidad (Saratale *et al.*, 2011).

Las industrias textiles generan efluentes con alto contenido de contaminantes, además de utilizar grandes volúmenes de agua; alrededor de 70 L por kg de algodón utilizado (Dhanve *et al.*, 2008; Karim *et al.*, 2018).

Estos residuos líquidos se arrojan directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento, por lo que afectan directamente a la flora y la fauna acuática, causan muta-

ciones en especies, aunado a que cuando los colorantes se transforman en aminas aromáticas pueden ocasionar cáncer a los seres humanos que se encuentran en contacto constantemente con estos residuos (Karim *et al.*, 2018).

Existen procesos para el tratamiento de agua de los efluentes de las industrias textiles; los principales son los físicos, químicos y biológicos. Siendo los tratamientos biológicos los de menor costo, tanto en implementación como en mantenimiento (Asad *et al.*, 2007).

Los procesos biológicos a través de microorganismos constituyen una alternativa, sin embargo, es necesaria la búsqueda de organismos capaces de remover dichos compuestos. Entre estos se encuentran los halófilos ya que proceden de ambientes extremos, se adaptaron celularmente, y soportan condiciones diversas de pH y temperaturas, por lo que son idóneas para este tipo de procesos (Ramírez *et al.*, 2006; González-Hernández *et al.*, 2002).

Con esta investigación se pretende obtener las condiciones óptimas de: salinidad y concentración de colorante a las cuales se obtienen una mayor remoción y si los productos de transformación de este proceso de remoción llegan a ser de mayor contaminación que el propio colorante analizado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es contribuir en los procesos de eliminación del contaminante en este caso colorante Rojo Directo 81 por microorganismos halófilos.

## **Fundamentación teórica**

La manufactura de textiles se encuentra posicionada entre las principales industrias que contaminan los cuerpos de agua del planeta produciendo un 54% de efluentes con tintes. De los cuales se le atribuyen un 21% al teñido de telas, 21% a la industria del papel, 8% a la industria de pinturas y un 7% a la fabricación de tintes. México no es la excepción ya que genera alrededor de 120 m<sup>3</sup> /Ton de fibra de efluentes anualmente (Katheresan *et al.*, 2018; Cortazar *et al.*, 2010).

Dichos efluentes se caracterizan por su contenido en sales minerales, metales pesados, fenoles, solventes clorados, surfactantes y con contenido de colorantes azoicos. En la actualidad se cuenta con alrededor de 100, 000 distintas variedades de colorantes en el mercado comercial los cuales se pueden presentar desde los colorantes directos, dispersos, azufrados, ácidos y básicos, los cuales están compuestos por una sal di-básica y un grupo cromóforo (Li *et al.*, 2017).

Los grupos cromóforos presentes en los colorantes son los metilados (CH<sub>3</sub>), carbonilos (C=O) y azoicos (-N=N-); en la actualidad se ha reportado que los grupos antes men-

cionados ocasionan daños a la salud y al medio ambiente; ya que son cancerígenos y mutagenéticos. Esto ha sido probado en distintos organismos y microorganismos utilizados como indicadores biológicos tales como *Salmonella typhimurim*, *Daphnia magna* y algunas variedades de peces (Cortazar-Martínez *et al.*, 2012).

Además, algunos estudios reportan que es necesario un tratamiento de los efluentes provenientes de las industrias textiles ya que si se realiza una descarga directa de los desechos se inhibe la penetración de la luz en los cuerpos de agua, no se realiza la fotosíntesis correctamente y se reduce la producción de oxígeno en el agua; por ende, la afectación directa de la vida acuática (Hassan *et al.*, 2018). El constante contacto con este tipo de residuos ocasiona daños a la salud como: cáncer en vejiga, hepático y esplénico.

Una de las principales transformaciones de los colorantes azoicos se presenta en bencidina; compuesto de alta inflamabilidad y de rápido transporte en el ambiente, además de ser insoluble y pasar a formar parte del fondo del cuerpo de agua donde se libera (Aranganathan *et al.*, 2015). Si no se cuenta con la solubilidad de los compuestos como la bencidina esta puede ser consumida por los animales acuáticos, entrar al torrente sanguíneo y ocasionar la bioacumulación del compuesto en el cuerpo. Lo que ocasiona una reducción en la tasa de alimentación, y descenso en el crecimiento de los peces, disminución en el contenido proteico, menor musculatura, daños en el hígado y branquias (Aranganathan *et al.*, 2015). Es por ello que los efluentes de las industrias textiles son uno de los principales contribuyentes de cargas tóxicas en el ambiente acuático.

Existen distintas metodologías de eliminación de colorantes de las aguas residuales estos son de manera física, química y biológica, de los cuales se han obtenido hasta un 90% de remoción de colorantes, una de las problemáticas de estos tipos de tratamientos es que suelen ser deficientes en el proceso; aunado a que los lodos generados en el proceso son muy peligrosos para el medio ambiente por su contenido de productos contaminantes generados por la transformación de los colorantes (Katheresan *et al.*, 2018).

Los procesos más eficientes son las técnicas de eliminación con tratamientos biológicos, ya que si se cuenta con condiciones aerobias y anaerobias en el proceso se eliminan una mayor cantidad de compuestos de bajo costo (Katheresan *et al.*, 2018). Es por ello que los procesos biológicos en las fases aerobias y anaerobias pueden llegar a la mineralización total del contaminante, ya que el grupo azo y su radical nitro se reducen en condiciones de aerobiosis. Por otra parte, los compuestos de aminas aromáticas que son más persistentes que los compuestos antes mencionados se llevan a cabo por la degradación anaerobia (Cobos-Becerra *et al.*, 2010).

## **Método**

Se llevó a cabo una investigación experimental, descriptiva en el Laboratorio de Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales del Centro de Investigación e Innovación Biotecnológica, Agropecuaria y Ambiental del Instituto Tecnológico de Sonora.

### **Selección de cepas bacterianas**

Se sembraron las cepas aisladas de suelo salino del Estado de Sonora (en Bahía de Lobos (110°27'34" O, 27°22'18" N), Yavaros (109°33'34" O, 26°44'29" N), Guaymas ( 110°46'32"O, 27°55'05"N) y Puerto Peñasco (113°29'28"O, 19°19'46"N) ) y ex Lago de Texcoco ubicado al noroeste de la ciudad de México (Latitud Norte 19° 30'52" Longitud Oeste 98°59'24") en el Estado de México, México (Soto *et al.*, 2014), en agar marino, colorante rojo directo (200 y 300 ppm), se incubó por seis días a 37°C con un pH de 6.8, se evaluó la degradación según su halo de decoloración según el método propuesto por Karim *et al.* (2018).

### **Cinética de remoción**

La cinética de remoción se realizó en medio basales (LB) y colorante (7:3 v/v), teniendo variación de NaCl (3 y 5%) y colorante (200 y 300 ppm), se inoculó con 3 ml de inóculo bacteriano, se incubó a 35°C y 150 ppm, se tomó muestra por seis días, se centrifugaron a 10000 g por 15 min y se reservaron para posteriores análisis según Karim *et al.* (2018).

### **Evaluación de la degradación**

Los porcentajes de decoloración se calcularon según Asad *et al.* (2007), de los extractos crudos obtenidos de la fermentación por medio de espectrofotometría UV se leyeron a 544 nm y se expresaron con la siguiente fórmula:

$$\text{Decolorización (\%)}: \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100$$

En donde:

A<sub>0</sub>: es la absorbancia inicial.

A: es la absorbancia del medio después de la degradación  $\lambda_{max}$  del colorante.

### **Cuantificación de proteína**

La proteína se cuantificó por el método de Bradford, (1976), leyéndose a una longitud de onda de 295 nm, expresándose los resultados en mg de proteína por  $\mu$ l de muestra.

## Resultados y discusiones

De las seis cepas halófilas analizadas; las cepas 17 y M2P presentaron un halo de decoloración mayor del rojo directo 81, en las concentraciones probadas de 200 y 300 ppm. Para la cepa 17 fue de 40 % y para la cepa M2P de 50 y 60 % respectivamente; esto a diferencia de los otros microorganismos analizados, que se obtuvo entre un 10 y 30 % (Tabla 1).

Tabla 1

*Porcentaje de halo en placa de las cepas halófilas*

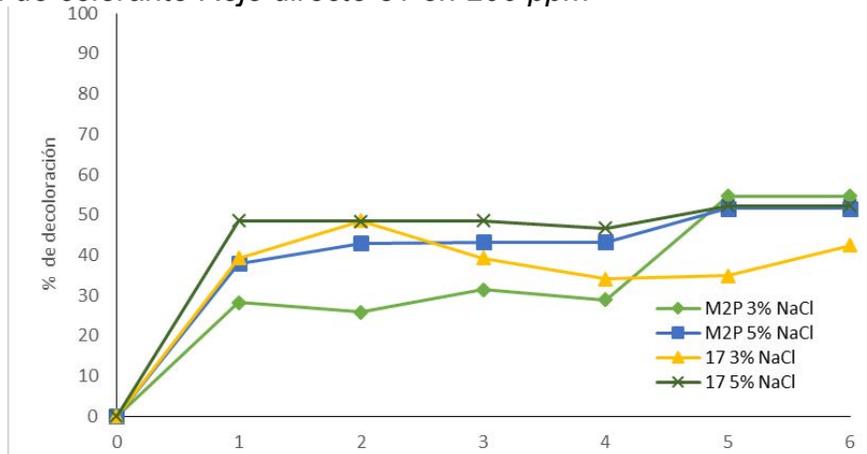
CEPA	% Halo a 200 ppm	% de halo a 300 ppm
M1Q	10	0
17	40	40
M1F	40	0
M2P	50	60
H1H	30	20
H1G	30	10

Se realizaron cinéticas de remoción con las cepas que presentaron un mayor halo de decoloración (cepa 17 y M2P), las cuales se probaron con 3 y 5 % de NaCl, a 200 y 300 ppm de colorante rojo directo 81.

En la figura 1 se puede observar que a una concentración de 200 ppm de colorante, la cepa 17 a una salinidad del 3 % tiene la capacidad de decolorar 40 % del colorante el día 1 con un máximo de decoloración al segundo día, de un 50% de decoloración. Mientras que al 5 % de salinidad se decolora el 50 % en el día uno y su máximo de decoloración fue al sexto día con un 55 % de decoloración.

Figura 1

Decoloración de colorante Rojo directo 81 en 200 ppm

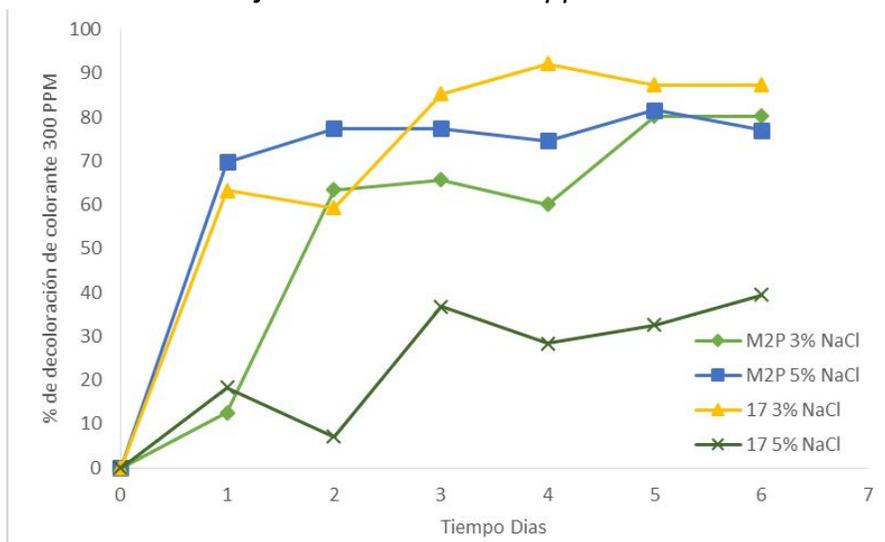


Mientras que la cepa M2P con un 3 % de salinidad decolora un 29 % en el primer día de fermentación, presentando un 59 % de decoloración en el día seis; al 5 % de salinidad llega a decolorar el 39 % en el día uno, incrementándose constantemente hasta el día seis donde su máxima decoloración fue de 55 %.

El comportamiento de la decoloración del colorante rojo directo 81 a una concentración de 300 ppm se puede observar en la Figura 2, en donde la cepa 17 al 3 % de NaCl decolora un 60 % en el primer día de fermentación, llegando a decolorar el 90 % al quinto día, mientras que al 5 % de NaCl decolora un 40 % en el tercer día y permanece constante hasta el último día de fermentación.

Figura 2

Decoloración de colorante Rojo directo 81 en 300 ppm



La cepa M2P al 3 % de NaCl comienza a decolorar un 60 %, en dos días teniendo su

máxima decoloración 80 % al quinto día, por otra parte el comportamiento a un 5 % de NaCl se decolora el 70% del colorante en el primer día, su decoloración máxima de 80 % en seis días.

Mientras que Chen *et al.* (2018), obtuvieron una decoloración del 66 % en un periodo de siete días, este estudio fue realizado con bacterias halófilas, fueron superiores a los que reporta el autor ya que la cepa 17 y M2P llega a decolorar una mayor cantidad de colorante en un menor tiempo a lo reportado por el autor, uno de los principales aspectos que se le podría atribuir a una decoloración se le podría deber a que las bacterias analizadas pudieran llegar a tener una fácil adaptación al estrés en los medios que se le son colocados, haciéndolas de interés para la remoción de no simplemente colorantes si no otros tipos de compuestos de contaminación ambiental.

En relación a los resultados obtenidos en los estudios de Lade *et al.* (2015) se evaluó la capacidad de degradación de una variedad de colorantes entre ellos el colorante rojo directo 81, donde obtuvieron un 75 % de decoloración en concentraciones de 100 ppm en dos días. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en este estudio; ya que la cepa 17 decolora el 60% y la cepa M2P el 70 %. Cabe señalar que en este estudio se incrementó la concentración a 300 ppm. Uno de los factores principales para la obtención de una mejor decoloración se pudiera atribuir a que las cepas con las que se trabajaron se aislaron de suelos salinos y debido a esos ambientes las bacterias se adaptan con mayor facilidad a medios de enriquecimiento con contenido de sal.

En el estudio realizado por Lalnunhlimi *et al.* (2016) donde se evaluó la decoloración y remoción de los colorantes azul directo 151 y rojo directo 31 por medio de un consorcio de bacterias alcalinas obteniendo remociones de un 90 % de decoloración en cinco días con concentraciones de 300 ppm, los resultados son similares, sin embargo con la cepa 17 se obtiene la misma decoloración con un periodo menor de un día, la cepa M2P decolora un 80 % en el día dos, es menor la decoloración sin embargo se diferencia por dos días teniendo esta cepa la capacidad de decolorar en un menor tiempo. Cabe mencionarse que el autor trabajó con un consorcio microbiano y los resultados presentados en este trabajo son de una bacteria, agregando un mayor valor a los resultados, ya que se obtiene resultados similares en un menor tiempo y solo por el metabolismo de una bacteria halófila.

Mientras que Anwar *et al.* (2014), probaron la decoloración de rojo reactivo 120 y cromo hexavalente con *Acinetobacter junni*, obteniendo una decoloración del 80% en tres días con concentraciones de 25 ppm, estos resultados son menor a los presentados en este trabajo ya que la cepa M2P y 17 decoloran 80 % a concentraciones de 300 ppm, un factor de la variación se pudiera deber a la composición del colorante utilizado ya que el rojo reactivo 120 tiene una cantidad mayor de enlaces aminos, además de contener mas

compuestos fenólicos a diferencia del rojo directo 81 que solo cuenta con un doble enlace y su molécula es menos compleja, haciendo que la bacteria tenga una mayor asimilación y llegar mas rápido a la mineralización de este compuesto.

## **Conclusión**

Las cepas halófilas aisladas de ambientes salinos (17 y M2P) fueron capaces de remover el colorante rojo 81, por lo que puede ser una potencial opción para el tratamiento de efluentes provenientes de la industria textil.

## **Agradecimientos**

Agradecemos el financiamiento al Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI 2022).

## **Referencias**

- Anwar, F., Hussain, S., Ramzan, S., Hafeez, F., Arshad, M., Imran, M., ... & Abbas, N. (2014). Characterization of reactive red-120 decolorizing bacterial strain *Acinetobacter junii* FA10 capable of simultaneous removal of azo dyes and hexavalent chromium. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(8).
- Aranganathan, V., Kanimozhi, A. M. y Palvannan, T. (2015). Toxicity assessment and bioremediation of textile effluent by isolated *Pseudomonas oleovorans* PAMD\_1 bacteria. *Desalination and Water Treatment*, 54(10), 2840-2847.
- Asad, S., Amoozegar, M. A., Pourbabae, A., Sarbolouki, M. N. y Dastgheib, S. M. M. (2007). Decolorization of textile azo dyes by newly isolated halophilic and halotolerant bacteria. *Bioresource technology*, 98(11), 2082-2088.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Chen, Y., Feng, L., Li, H., Wang, Y., Chen, G., & Zhang, Q. (2018). Biodegradation and detoxification of Direct Black G textile dye by a newly isolated thermophilic microflora. *Bioresource technology*, 250, 650-657.
- Cobos-Becerra, Y. L. y González-Martínez, S. (2010). Degradación biológica de colorantes azo en agua residual. *Researchgate*
- Cortazar, A., Coronel, C., Escalante, A. y González, C. (2010). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Universidad Autónoma del Estado de México. México.*
- Cortazar-Martínez, A., González-Ramírez, C. A., Coronel-Olivares, C., Escalante-Lozada, J. A., Castro-Rosas, J., y Villagómez-Ibarra, J. R. (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 187-199.

- Dhanve, R. S., Shedbalkar, U. U. y Jadhav, J. P. (2008). Biodegradation of diazo reactive dye Navy Blue HE2R (Reactive Blue 172) by an isolated Exiguobacterium sp. RD3. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13(1), 53-60.
- González-Hernández, J. C. y Peña, A. (2002). Estrategias de adaptación de microorganismos halófilos y *Debaryomyces hansenii* (Levadura halófila). *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 44(3-4), 137-156.
- Hassan, M. M. y Carr, C. M. (2018). A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents. *Chemosphere*.
- Karim, M. E., Dhar, K. y Hossain, M. T. (2018). Decolorization of Textile Reactive Dyes by Bacterial Monoculture and Consortium Screened from Textile Dyeing Effluent. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*.
- Katheresan, V., Kansedo, J., y Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Lade, H., Kadam, A., Paul, D., & Govindwar, S. (2015). Biodegradation and detoxification of textile azo dyes by bacterial consortium under sequential microaerophilic/aerobic processes. *EXCLI journal*, 14, 158.
- Lalnunhlimi, S., & Krishnaswamy, V. (2016). Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(1), 39-46.
- Li, G., Nandgaonkar, A. G., Wang, Q., Zhang, J., Krause, W. E., Wei, Q. y Lucia, L. A. (2017). Laccase-immobilized bacterial cellulose/TiO<sub>2</sub> functionalized composite membranes: Evaluation for photo-and bio-catalytic dye degradation. *Journal of Membrane Science*, 525, 89-98.
- Ramírez, N., Serrano, J. A. y Sandoval, H. (2006). Microorganismos extremófilos. *Actinomycetoshalófilosen México. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(3).
- Saratale, R. G., Saratale, G. D., Chang, J. S. y Govindwar, S. P. (2011). Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(1), 138-157.
- Soto-Padilla M.Y., C. Valenzuela-Encinas, L. Dendooven, R. Marsch, P. Gortarés-Moroyoqui and M.I. Estrada-Alvarado. (2014). Isolation and phylogenetic identification of soil haloalkaliphilic strains in the former Texcoco Lake. *Int. J. Environ. Health. Res.* 24:82-90.

# Capítulo 2

## Plan de acciones de RSE para una empresa manufacturera de arneses eléctricos

Julio César López Figueroa  
René Daniel Fornés Rivera  
Adolfo Cano Carrasco  
Moisés Ricardo Larios Ibarra

### Resumen

Esta investigación se desarrolló en una empresa manufacturera de arneses eléctricos para la industria automotriz de Cd. Obregón, Sonora, la cual no presentó en su plan estratégico un mecanismo para mejorar su relación con sus grupos de interés, situación que podía afectar negativamente su imagen y reputación empresarial, su cartera de clientes y sus utilidades financieras. Para atender esta situación se propuso a la alta directiva de esta empresa integrarse a los principios de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), por lo que se elaboró un plan de acciones socialmente responsables tomando como referencia la norma internacional ISO 26000 de Responsabilidad Social. Se llevó a cabo un análisis interno y externo de la organización, se aplicaron instrumentos para evaluar el nivel existente de RSE en la entidad y se identificaron las áreas de oportunidad para la implementación de las prácticas socialmente responsables; como resultado se obtuvo un plan de acciones de RSE para cada uno de los temas que conformaron la norma utilizada, y se establecieron los indicadores, metas, objetivos, responsables y frecuencias de medición. Se concluye que la presente investigación cumplió con su objetivo, pues se determinó que acciones tales como contar con un código de conducta referente al tema de Derechos Humanos, proporcionar igualdad de oportunidades laborales, fomentar mediante la participación activa el desarrollo de la comunidad y desarrollar las labores en apego a criterios éticos, sociales, ambientales y de igualdad de género, entre otras, permitirían integrar la RSE en la estrategia de esta organización y mejorar su relación con sus grupos de interés, al mismo tiempo de posibilitar la obtención de una certificación como Empresa Socialmente Responsable.

Palabras clave: Responsabilidad Social Empresarial, Grupos de interés, ISO26000

## Introducción

Se define a la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) como una forma de gestión determinada por la capacidad de respuesta que tiene una organización para enfrentar las consecuencias de sus actividades laborales sobre los distintos públicos y espacios naturales con los cuales se relaciona; es así que una empresa es socialmente responsable cuando adquiere el compromiso con el desarrollo social, político y económico de su ambiente, en los contextos tanto internos como externos de sus actos (Pérez *et al.*, 2021).

De acuerdo con Manjarrez *et al.* (2019) el proceso de concientización de la problemática de la RSE empieza desde mediados del siglo XX como resultado de la discusión a los modelos de desarrollo imperantes, los cuales se orientaban al crecimiento económico, industrial y tecnológico, involucrando altos costos sociales, económicos, culturales y ambientales a través del consumo o uso irracional de los recursos del medio. En este contexto, la sociedad empieza a solicitar a las empresas que reconozcan su capacidad de dañar al medio ambiente en su dimensión social, natural y económica, y en consecuencia hacerse responsables en la gestión de su actividad empresarial. Lo anterior conduce a establecer el propósito de generar una economía global sustentable que resuelva las necesidades actuales y a la vez no destruya la habilidad de las futuras generaciones en resolver las suyas, por lo que cada empresa deberá establecer políticas internas que permitan solucionar sus problemas sociales, ambientales y económicos, constituyéndose además en una empresa competitiva.

Pérez *et al.* (2016) manifiestan que las empresas desempeñan un papel muy importante en la vida de las personas, no solo como proveedoras de empleo y de riqueza, sino como agentes de desarrollo en las comunidades donde están establecidas. Es alentador observar que son cada vez más las organizaciones que se han concientizado de ello y se han integrado, o tiene el interés de hacerlo, al enfoque estratégico de la RSE con la finalidad de obtener ventajas competitivas y mejorar, además, las relaciones con sus diferentes grupos de interés.

En la presente investigación se analiza la situación de una empresa dedicada a la fabricación de arneses eléctricos para la industria automotriz y que no cuenta en sus planes estratégicos con un sistema de gestión que le permita atender los requerimientos de sus partes interesadas, lo que deriva en una carencia de ventajas competitivas que pueden redundar en una pérdida de posición en el mercado, en la cartera de clientes, en la imagen y reputación empresarial, y en las utilidades financieras (Lara y Sánchez, 2021) (Mayorga *et al.*, 2014).

Además, esta situación puede colocar a la empresa en una postura de desventaja ante aquellos competidores que han integrado la RSE en sus planes estratégicos, pues el presente siglo registra un incremento en las personas y organizaciones que tienen preferencia por relacionarse con empresas catalogadas como socialmente responsables. Para que la organización bajo estudio se convierta en una Empresa Socialmente Responsable deberá de obtener una certificación en responsabilidad social por parte de algunos de los organismos promotores de RSE.

Es conveniente mencionar que en el contexto nacional, el Centro Mexicano para la Filantropía (Cemefi) y la Alianza por la Responsabilidad Social Empresarial en México (AliaRSE) otorgan el distintivo denominado ESR (Empresa Socialmente Responsable) con fines de acreditar y proporcionar reconocimiento a las compañías que demuestran un liderazgo en su compromiso de aportar valor social a todos los niveles de su operación. Es así que se determina como objetivo de esta investigación elaborar un plan de acciones socialmente responsables, tomando como referencia los lineamientos de la norma ISO 26000, para que la empresa manufacturera de arneses eléctricos integre en su estrategia las prácticas de la RSE que la posibilitarán a la obtención de una certificación en responsabilidad social.

Es importante señalar que la norma ISO 26000 no es certificable pues no se trata de una norma de gestión para la RSE, sino que solamente es una guía cuyo propósito es proporcionar una orientación general para la contextualización de la responsabilidad social en el mundo. Sin embargo, a través del cumplimiento de los lineamientos establecidos en la ISO 26000 sí es posible obtener certificaciones de sistemas de gestión en responsabilidad social de otros organismos promotores de la RSE.

La adopción de acciones de RSE genera en una organización múltiples beneficios, ya que es una estrategia que orienta a las entidades a la sustentabilidad, permitiendo que fortalezcan su imagen, su valor de la marca y su reputación empresarial, produciendo resultados prometedores tanto económicos como sociales, lo que permite asegurar la sostenibilidad del negocio a largo plazo. Asimismo, la RSE favorece la relación de la empresa con sus grupos de interés, pues este sistema de gestión impacta de manera positiva en los empleados (quienes resultan beneficiados a consecuencia de las condiciones laborales justas, un salario adecuado, igualdad de trato, seguridad y salud laboral), los clientes (que obtienen productos con mayor calidad, información clara y transparente, atención y servicio postventa), la comunidad (ya que se fomenta el empleo, aumentan las oportunidades y se desarrolla el entorno), entre otros beneficios.

Si la organización estudiada se integra a los principios de la RSE podrá encaminarse a obtener una certificación en responsabilidad social y, por lo tanto, constituirse como una

Empresa Socialmente Responsable, propiciando con esto incrementar la lealtad de los colaboradores, la imagen empresarial, el desempeño financiero y la productividad, entre otros.

## **Fundamentación teórica**

La literatura especializada señala que tradicionalmente las empresas consideraban solamente el aspecto monetario como el único resultado de sus actividades, sin embargo, acontecimientos tales como la globalización de las economías y el continuo avance tecnológico contribuyeron a que las organizaciones ampliaran su visión en los daños ambientales y sociales que ocasionaban. Este contexto ha promovido el auge de la RSE como una estrategia para disminuir el impacto negativo que las actividades laborales de las empresas ocasionan en sus relaciones con los diferentes grupos con los que se relacionan, es decir, con sus denominados stakeholders (Cemefi, 2018).

Greco et. al (2014) indica que el término stakeholder se traduce al español con frecuencia como grupo de interés o como parte interesada, y hace referencia a todas aquellas personas, empresas, comunidad y sociedad que tienen interés en la existencia y desarrollo de una empresa: empleados, clientes, proveedores, inversionistas, organismos públicos, asociaciones profesionales, organizaciones de la sociedad civil, público en general, entre otros.

La RSE se establece entonces como una filosofía empresarial adoptada por la alta dirección de una organización con la intención de proporcionar beneficios a los consumidores, sus trabajadores, sus familias y el entorno social de la zona donde operan laboralmente (Arévalo y Escobar, 2018). Asimismo, Mamani y Portugal (2020) manifiestan que la RSE se constituye como un modelo de gestión integrado por acciones, procedimientos y especificidades, el cual de acuerdo a Andrade (2021) al incorporarse a la cultura de una organización la posibilita a desarrollar una postura de constante adecuación a los cambios dinámicos y en constante transformación presentados por el entorno de los negocios.

Es conveniente mencionar que si una empresa desea incorporar los principios de la RSE, la norma internacional ISO 26000 representa una orientación muy conveniente para integrar la responsabilidad social en todo tipo de organizaciones con el fin de ayudarlas a contribuir al desarrollo sostenible. Esta norma aborda siete materias que en conjunto comprenden los tres temas de responsabilidad social (medioambiental, social y económico): a) Gobernanza de la Organización: Sistema por el cual una organización toma e implementa decisiones para lograr sus objetivos; b) Derechos Humanos: Derechos básicos que le corresponden a cualquier ser humano por el hecho de serlo; c) Prácticas Laborales: Incluyen todas las políticas y prácticas afines con el trabajo que se realiza en la organización; d) Medio Ambiente: Hace referencia al impacto que genera la organización

con respecto al uso de los recursos, la generación de contaminación y residuos, además de las consecuencias de sus actividades en los hábitats naturales; e) Prácticas Justas de Operación: Se refieren a la conducta ética de una organización en sus transacciones con otras; f) Asuntos de Consumidores: Aborda la responsabilidad que tiene una organización con sus consumidores y clientes; g) Participación Activa y Desarrollo de la Comunidad: Es el reconocimiento de la relación de una empresa con la sociedad en la que opera (ISO, 2010).

En el mismo orden de ideas, una empresa que se adhiere al enfoque de la RSE adquiere posibilidades de obtener una certificación como Empresa Socialmente Responsable, la cual es definida por Espinoza (2018) como aquella que va más allá del objetivo tradicional de únicamente crear valor económico, y por Barreras (2019) como la entidad que atiende sus necesidades con la responsabilidad de que sus actividades no dañen a terceros.

## **Método**

El presente estudio es de tipo descriptivo (Hernández *et al.*, 2010). El sujeto bajo estudio fue una empresa manufacturera de arneses eléctricos ubicada en el Parque Industrial de Ciudad Obregón, Sonora, México. Los instrumentos utilizados fueron los siguientes: a) Norma ISO 26000 de Responsabilidad Social Empresarial; b) Software IBM SPSS Statistics; c) Microsoft Excel. Como procedimiento para lograr el objetivo planteado en este trabajo se siguieron los siguientes pasos:

a) Se llevó a cabo un análisis del ambiente interno y externo de la organización con el propósito de identificar las fortalezas y debilidades, así como también las oportunidades y amenazas que se presentan en esta entidad y que influyen en el desarrollo de sus operaciones.

b) Se elaboraron encuestas basadas en los lineamientos de la ISO 26000 para evaluar el nivel de RSE de la empresa y para la aplicación de dichas encuestas se manejó una escala de Likert utilizando los valores: 1=Totalmente en desacuerdo, 2=Desacuerdo, 3=Neutral, 4=De acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo, descartándose además aquellos ítems de la norma que no tuvieron relación con el giro de la organización. Estos instrumentos se aplicaron en un periodo de dos semanas y fueron contestados por miembros de la organización, los cuales fueron seleccionados de manera aleatoria. Para fines de cuantificar las áreas de oportunidad para implementar prácticas socialmente responsables se determinó el siguiente criterio: Si en un ítem el total de encuestados respondió "Totalmente de acuerdo" se consideró aspecto satisfecho 100%, por lo tanto, para todos los aspectos restantes que no alcanzaron el nivel máximo se consideró la conveniencia de implementar prácticas de RSE.

c) Se identificaron las áreas de oportunidad para la implementación de las prácticas socialmente responsables considerando los incumplimientos que se presentaron en

los resultados obtenidos por las encuestas y que deberán ser atendidos por la empresa para poder acceder a una certificación en RSE.

d) Se elaboró un plan de acciones propuestas de RSE, agrupadas por materia, y se determinaron los indicadores, metas, objetivos, responsables y frecuencias de medición, con la finalidad de asegurar el desarrollo y seguimiento de cada una de las actividades propuestas.

## Resultados y discusión

a) En la Tabla 1 se muestran las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas identificadas en la organización estudiada, con el propósito de identificar las condiciones en las que se encuentra actualmente:

Tabla 1

### *Análisis interno y externo de la situación actual de la organización*

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Organización reconocida nacional e internacionalmente.	Programas de exportación con beneficios en la reducción de aranceles.	Reducida eficiencia del recurso humano.	Incumplimiento y retraso de las entregas de los proveedores.
Capacidad de elaborar distintos tipos de arneses eléctricos.	Crecimiento del nivel de exportación debido a tratados como TLCAN.	Escasez de un sistema de gestión en Responsabilidad Social Empresarial.	Inseguridad de la región donde se desarrolla la organización.
Certificación ambiental en la norma ISO 14001:2015.	Elevado número de contrataciones al ofrecer un salario mínimo mayor situándose en un estado fronterizo.	Elevado costo de manufactura.	Cambios constantes de los requerimientos del cliente.
Certificación en sistemas de gestión de calidad automotriz en la norma ISO/TS 16949.	Aumento en la demanda global de arneses eléctricos.	Elevado porcentaje de scrap en sus operaciones.	Devaluación del peso mexicano frente al dólar americano.
Elevada motivación del personal al proporcionar bonos de manera periódica.	Obtención de una certificación en Responsabilidad Social Empresarial.	Reducido nivel de escolaridad de los empleados.	Normatividad legal, jurídica y comercial.
La dirección fomenta la gobernanza	Aumento en la cartera de clientes de la planta que garantice mayor estabilidad a la misma.	Elevada rotación del personal y ausentismo.	Competidores con grandes estructuras organizacionales.
Ubicación ideal por su establecimiento en zona de industrias maquiladoras.	Incremento de la inversión pública en la zona industrial donde se sitúa la planta favoreciendo sus operaciones.		

**Nota:** Se identifican índices elevados de rotación y ausentismo, además de incumplimiento de proveedores; se destacan aspectos positivos como certificaciones en aspectos ambientales y de calidad.

Los resultados obtenidos en este punto permiten acotar la presente investigación a solo cuatro materias de la ISO 26000: Derechos Humanos, Prácticas Laborales, Prácticas Justas de Operación, además de Participación Activa y Desarrollo de la Comunidad.

b) A continuación se muestran, a manera de ejemplo, algunos instrumentos utilizados para evaluar el nivel de RSE existente en la empresa:

*Evaluación global del diagnóstico de la organización para conocer el nivel de cumplimiento de responsabilidad social centralizado en las Prácticas Justas de Operación.*

Conteste marcando con una "X" dentro del recuadro que indique el nivel de cumplimiento de acuerdo a una escala de Likert: 1= Totalmente en desacuerdo, 2= Desacuerdo, 3=Neutral, 4=De acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo.

No.	Acciones	1	2	3	4	5
1	La organización identifica los riesgos de corrupción e implementa y mantiene, políticas prácticas que la combatan.					
2	La organización cuenta con líderes que sirvan de ejemplo en la anti-corrupción y proporcionen compromiso, motivación y supervisión en la implementación de políticas de este tema.					
3	La organización apoya a sus empleados y representantes en sus esfuerzos por erradicar el soborno y la corrupción y proporciona incentivos por los avances en esas materias.					
4	La organización asegura que la remuneración de sus empleados sea adecuada y se produzca sólo por los servicios legales prestados.					
5	La organización establece y mantiene un sistema eficaz para luchar contra la corrupción.					
6	La organización alienta a sus partes interesadas a que					

*Evaluación global del diagnóstico de la organización para conocer el nivel de cumplimiento de responsabilidad social centralizado en las Participación Activa y Desarrollo de la Comunidad*

Conteste marcando con una "X" dentro del recuadro que indique el nivel de cumplimiento de acuerdo a una escala de Likert: 1= Totalmente en desacuerdo, 2= Desacuerdo, 3=Neutral, 4=De acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo.

No.	Acciones	1	2	3	4	5
1	La organización se considera como parte de la comunidad al abordar la participación activa y desarrollo de la comunidad.					
2	La organización reconoce y da la debida consideración a los derechos de los miembros de la comunidad a tomar decisiones con relación a su comunidad y así perseguir formas de maximizar sus recursos y oportunidades.					
3	La organización reconoce y da la debida consideración a las características culturales, religiosas tradiciones e historias de la comunidad mientras interactúa con ella.					
4	La organización reconoce el valor de trabajar en alianza con otras organizaciones, apoyando el intercambio de experiencias, recursos y esfuerzos.					
5	La organización consulta a los grupos representativos de la					

Para llevar a cabo la aplicación de los instrumentos de evaluación de la RSE se determinó una población de 352 empleados administrativos pertenecientes a los tres turnos laborales, no se consideró a personal de más bajo nivel debido a que desconocen el plan estratégico de la empresa, por lo que se calculó estadísticamente un tamaño de muestra mediante la siguiente fórmula (donde  $Z=1.96$ ,  $p=0.50$ ,  $q=0.50$ ,  $e=0.10$ ,  $N=352$ ):

$$n = \frac{z^2(p)(q)}{e^2} = \frac{(1.96)^2(0.50)(0.50)}{(0.10)^2} = 38.416 \approx 39$$

Lo anterior generó como resultado la obtención de un tamaño de muestra de 76 empleados, a quienes se aplicaron los instrumentos para evaluar el nivel de RSE existente en la organización.

c) Enseguida se muestran, a manera de ejemplo, gráficas correspondientes a los temas Derechos Humanos, Prácticas Laborales y Prácticas Justas de Operación, las cuales reflejan incumplimiento debido a que no alcanzaron una puntuación del 100%, lo que se considera como área de oportunidad para implementar prácticas de RSE:

Figura 1  
Derechos Humanos

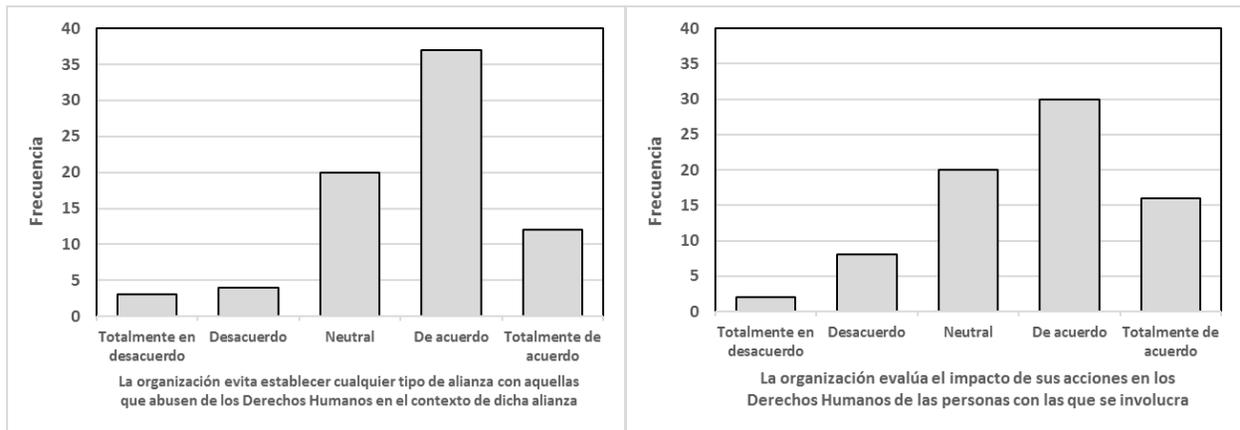


Figura 2  
Prácticas Laborales

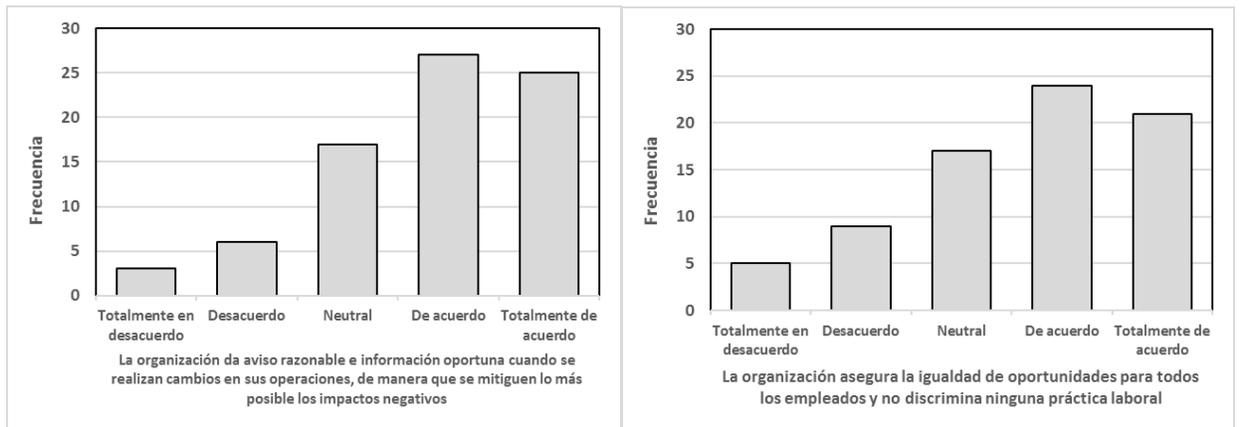
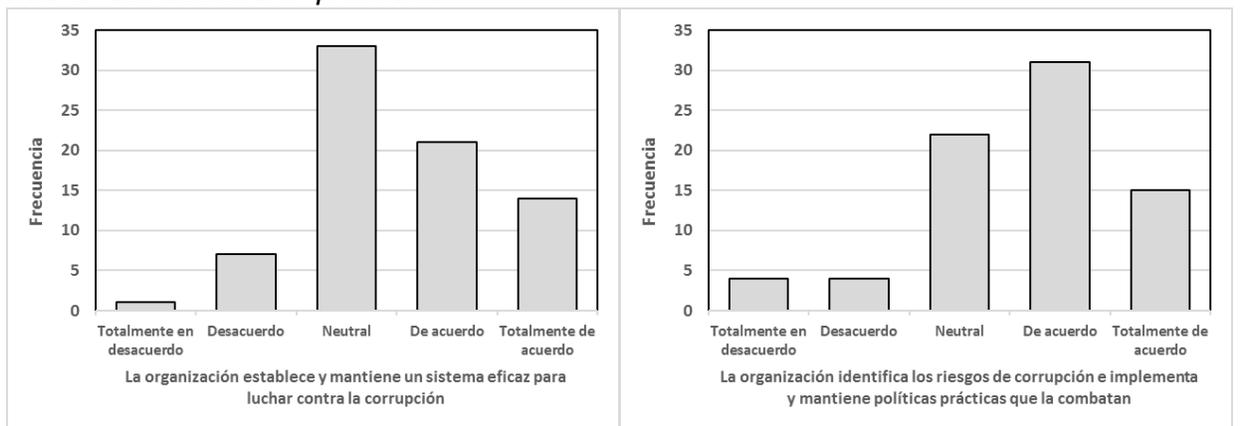


Figura 3  
Prácticas Justas de Operación



En la Tabla 2 se presenta a manera de ejemplo, algunas de las áreas de oportunidad para implementar la RSE que fueron identificadas en las preguntas de la encuesta:

Tabla 2

*Áreas de oportunidad para implementar prácticas de RSE en la empresa*

Derechos Humanos	Prácticas Laborales
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La organización cuenta con algún procedimiento, código de conducta o algún otro tipo de documento que aborde el tema de Derechos Humanos y ofrezca orientación a todas las partes interesadas, así como los medios para integrarla en toda la organización.</li> <li>2. La organización cuenta con medios para evaluar la manera en que las actividades afectan a los Derechos Humanos de los empleados.</li> <li>3. La organización cuenta con medios para registrar el desempeño de sus actividades y decisiones, para poder hacer ajustes y establecer acciones para disminuir los impactos negativos de éstas, con relación a los Derechos Humanos.</li> <li>4. La organización evita prestar el servicio a las entidades que la utilicen para cometer abusos en contra de los Derechos Humanos.</li> <li>5. La organización evita establecer cualquier tipo de alianza con aquellas que abusen de los Derechos Humanos en el contexto de dicha alianza.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La organización da aviso razonable e información oportuna cuando se realizan cambios en sus operaciones, de manera que se mitiguen lo más posible los impactos negativos</li> <li>2. La organización asegura la igualdad de oportunidades para todos los empleados y no discrimina ninguna práctica laboral.</li> <li>3. La organización elimina cualquier práctica arbitraria o discriminatoria de despido.</li> <li>4. La organización ofrece condiciones de trabajo decentes con relación a salarios, horas de trabajo, descanso semanal, vacaciones, salud y seguridad.</li> <li>5. La organización le ofrece a los empleados salarios y otras formas de remuneración de manera equitativa, directa y de acuerdo a lo establecido en la ley.</li> </ol>
Prácticas Justas de Operación	Participación Activa y Desarrollo de la Comunidad
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La organización identifica los riesgos de corrupción e implementa políticas prácticas que la combatan.</li> <li>2. La organización cuenta con líderes que sirvan de ejemplo en la anti-corrupción y proporcionen compromiso, motivación y supervisión en la implementación de políticas de este tema.</li> <li>3. La organización establece y mantiene un sistema eficaz para luchar contra la corrupción.</li> <li>4. La organización alienta a sus partes interesadas a que informen sobre violaciones de las políticas de la organización y tratamientos inmorales e injustos adoptando mecanismos que ofrezcan información para el seguimiento de la acción, sin miedo a represalias.</li> <li>5. La organización forma a sus empleados y representantes e incrementa la toma de conciencia respecto de la partición política responsable y cómo manejar los conflictos de interés.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La organización abordar una participación activa para el desarrollo de la comunidad.</li> <li>2. La organización reconoce y da la debida consideración a los derechos de los miembros de la comunidad a tomar decisiones con relación a su comunidad y perseguir formas de maximizar sus recursos y oportunidades.</li> <li>3. La organización participa en asociaciones locales mientras sea posible y adecuado, con el objetivo de contribuir al bien público y a los objetivos de desarrollo de las comunidades.</li> <li>4. La organización promueve y apoya la educación en todos los niveles, involucrándose en acciones que mejoren la calidad de la educación.</li> <li>5. La organización ayuda a conservar y proteger el patrimonio cultural, especialmente en aquellos lugares donde las actividades de la organización puedan tener un impacto sobre el mismo.</li> </ol>

*Nota:* Se observa que los cuatro temas de la ISO 26000 evaluados en esta investigación exponen áreas de oportunidad para implementar prácticas socialmente responsables y de esta forma dar cumplimiento a lo solicitado por los principios de la RSE.

d) Se elaboró el plan de acciones que se propone implementar por cada tema de la norma ISO 26000 abordado en esta investigación. A continuación, en la Tabla 3 se muestra a manera de ejemplo, algunos elementos del plan de acciones de RSE propuesto:

Tabla 3

*Plan de acciones de RSE*

<b>Derechos Humanos</b>					
Acción	Indicador	Meta	Objetivo	Responsable	Seguimiento
Contar con un código de conducta (y darle difusión) referente al tema de Derechos Humanos	Número de quejas de los empleados	0	Contar con una política de Derechos Humanos que sea conocida por toda la organización	Gerente de recursos humanos	Diario
Evitar establecer cualquier tipo de alianza con entidades que abusen de los Derechos Humanos	Número de quejas externas	0	Disminuir las organizaciones que atentan en contra de los Derechos Humanos	Gerente de recursos humanos	Semanal
Determinar el grado de discriminación existente en contra de los empleados, socios, clientes o partes interesadas	Número de quejas de los empleados	0	Eliminar la discriminación dentro de la organización	Gerente de recursos humanos	Diario
<b>Prácticas Laborales</b>					
Difundir cuando se realizan cambios en las operaciones	Informe de cambios	$\geq 2$	Informar los cambios en las operaciones	Gerente de Recursos Humanos	Quincenal
Proporcionar igualdad de oportunidades laborales	Número de quejas de los empleados	0	Evitar la discriminación laboral	Gerente de Recursos Humanos	Diario
Eliminar cualquier práctica arbitraria o discriminatoria de despido	Lista de prácticas arbitrarias	$\geq 2$	Minimizar los despidos	Gerente de Recursos Humanos	Quincenal
<b>Prácticas Justas de Operación</b>					
Contar con una política anti-corrupción	Número de reportes de corrupción	0	Eliminar la corrupción y el soborno en la organización	Gerente de Recursos Humanos	Mensual
Asegurar la remuneración adecuada de los empleados	Número de quejas de los empleados	0	Aumentar la motivación del personal	Gerente de Recursos Humanos	Semanal
Contar con políticas transparentes referentes a grupos con intereses, participación y contribución política.	Número de quejas presentadas por los grupos de interés	0	Evitar inconformidad de los grupos de interés	Gerente de Recursos Humanos	Semanal

Participación Activa y Desarrollo de la Comunidad					
Fomentar la participación activa y desarrollo de la comunidad por medio de eventos	Número de eventos	$\geq 1$	Involucrar a la organización con la sociedad que la rodea	Gerente de Recursos Humanos	Semestral
Trabajar en alianza con otras organizaciones	Número de proyectos	$\geq 1$	Apoyar el intercambio de experiencias, recursos y esfuerzos	Gerente de Recursos Humanos	Mensual
Establecer programas de desarrollo	Número de programas	$\geq 1$	Mejorar las condiciones de vida	Gerente de Recursos Humanos	Semestral

*Nota:* Sobresalen la indicación de que la empresa debe tener y difundir un código de ética correspondiente a los Derechos Humanos, que se elimine cualquier práctica arbitraria de despido y que se asegure una remuneración adecuada de los empleados. Es conveniente mencionar que el cumplimiento de estos señalamientos es indispensable para que la organización evidencie un genuino interés por mejorar su relación con sus grupos de interés.

## Conclusiones

Se concluye que la presente investigación cumplió con su objetivo debido a que, tomando como referencia la norma ISO 26000 de Responsabilidad Social, se elaboró un plan de acciones propuestas de RSE para una empresa manufacturera de arneses eléctricos que tiene el propósito de adherirse a los principios de la responsabilidad social y encaminarse a obtener una certificación en responsabilidad social. Se identificaron las áreas de oportunidad para implementar la RSE correspondiente a cuatro de los siete temas de la norma, los temas restantes -Asuntos de Consumidores, Gobernanza de la Organización y Medio Ambiente- no fueron considerados en los instrumentos de evaluación aplicados debido a que un análisis inicial realizado a la empresa, determinó que ésta ya se encuentra atendiendo dichos temas mediante acciones de la alta dirección y certificaciones previas recibidas.

Para la integración de la empresa a la RSE se planteó llevar a cabo acciones socialmente responsables tales como contar con un código de conducta referente a Derechos Humanos, proporcionar igualdad de oportunidades laborales, fomentar la participación activa para el desarrollo de la comunidad, desarrollar las labores con criterios éticos, sociales, ambientales y de igualdad de género, establecer programas de desarrollo en la comunidad, asegurar la remuneración adecuada de los empleados y contar con una política de empleo libre de discriminación, entre otras.

La implementación de las acciones de RSE propuestas incrementarán las posibilidades de la organización de ser evaluado positivamente por los organismos que otorgan el distintivo como Empresa Socialmente Responsable, y en caso de obtenerlo representaría a la entidad beneficios tales como una mejora en la percepción de la marca, incrementos en las ventas al diferenciar sus productos y servicios de la competencia, una mejora en el entendimiento de los requerimientos legales, entre otros.

## Referencias

- Andrade, C. (2021). Responsabilidad Social Empresarial: una breve revisión teórica para el caso ecuatoriano. *Sapientiae*, 7, 115. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8080710.pdf>
- Arévalo, M. y Escobar, S. (2018). La Responsabilidad Social Empresarial: concepto, teorías y dimensiones. *Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5, 611–612. <http://45.238.216.13/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/1508>
- Barreras, I. Z. (2019). La competitividad en las empresas agropecuarias a través de la Responsabilidad Social Empresarial. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 45, 273-284. <https://www.redalyc.org/journal/141/14162394001/14162394001.pdf>
- Centro Mexicano para la Filantropía (Cemefi). (2018). El concepto de Responsabilidad Social Empresarial. [www.cemefi.org/esr/images/stories/pdf/esr/concepto\\_esr.pdf](http://www.cemefi.org/esr/images/stories/pdf/esr/concepto_esr.pdf)
- Espinoza, M. (2018). Percepción sobre las empresas socialmente responsables en Distrito Metropolitano de Quito. *Podium*, (33), 35-44. <http://52.89.153.187/index.php/Podium/article/view/130>
- Greco, P., Chahín, T., Spinelli, H., Cortejarena, A., Alcaín, M., Nievas, G., Cordero, M. y Volpentesta, J. (2014). Identificación del impacto de la gestión de los stakeholders en las estructuras de las empresas que desarrollan estrategias de Responsabilidad Social Empresarial. *Universidad & Empresa*, 16(26), 63-92. ISSN: 0124-4639. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187232713003>
- ISO. (2010). ISO 26000:2010. Guidance on social responsibility. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:en>
- Lara, I. y Sánchez, J. (2021). Responsabilidad social empresarial para la competitividad de las organizaciones en México. *Mercados y Negocios*, núm. 43, pp. 97-118. <https://www.redalyc.org/journal/5718/571867103005/html/>
- Mamani, A. y Portugal, J. (2020). Responsabilidad Social Empresarial: implementación del sistema PYME y la gestión de RSE. Instituto Latinoamericano de Altos Estudios. <https://www.ilae.edu.co/files/book-pdf/202010011537011565917412.pdf>
- Manjarrez, N., Boza, J., Rizo, F. y Muñoz, C. (2019). La Responsabilidad Social Empresarial: Retos y desafíos. *Conference Proceedings*, 764-776. <https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/414/>
- Mayorga, P., Sánchez, J. y González, E. (2014). La responsabilidad social y los impactos que influyen en la competitividad de las pymes manufactureras de Guadalajara. *Mercados y Negocios*, vol. 15, núm. 2, pp. 65-90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571863946004>

- Pérez, M., Espinoza, C. y Peralta, B. (2016). La Responsabilidad Social Empresarial y su enfoque ambiental: una visión sostenible a futuro. *Universidad y Sociedad* [online]. 2016, vol.8, n.3, pp.169-178. ISSN 2218-3620. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202016000300023](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000300023)
- Pérez, L., Rodríguez, R., Fonet, E. y Espinosa, Y. (2021) La gestión de la Responsabilidad Social Empresarial en una entidad cubana. *Ciencias Holguín*, vol. 27, núm. 3. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Holguín, Cuba. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181568184007>

# Capítulo 3

## Monitoreo de un nicho perenne para polinizadores en el cultivo de papa y hortalizas en malla sombra, en el Valle del Yaqui, Sonora

Maritza Arellano Gil  
Catalina Mungarro Ibarra  
José Luis Martínez Carrillo  
Abel Alberto Verdugo Fuentes

### Resumen

Los insectos polinizadores tienen un papel clave en la producción de alimentos. Los agroecosistemas, principalmente los monocultivos tienen un gran impacto en la biodiversidad y los insectos polinizadores no son la excepción. Con el objetivo de incrementar la población y diversidad de insectos polinizadores, se estableció un nicho perenne con ocho especies vegetales: Texas ranger (*Leucophyllum frutescens*) Albahaca (*Ocimum basilicum*) Ruelia (*Ruellia simplex*), Lantana (*Lantana cámara*), Zinnia (*Zinnia elegans*), Caléndula (*Calendula officinalis*), Alyssum (*Lobularia marítima*) y Margarita africana (*Azania rigens*) en un predio agrícola en el Valle del Yaqui, Sonora, rodeado por los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y hortalizas en malla sombra. Se monitoreó la floración de las especies vegetales introducidas y las poblaciones de insectos visitantes. Las especies adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del Valle del Yaqui fueron Albahaca (*O. basilicum*), Lantana (*L. Cámara*), Texas ranger (*L. frutescens*) y Ruelia (*R. simplex*); entre la fauna insectil se observaron diferentes organismos asociados a los géneros Dípteros (28%), Himenópteros (25%), Lepidópteros (20%), Anisópteros (15%) y Coleópteros (13%). No hubo diferencia en cuanto a la biodiversidad de polinizadores que visitaron las flores de las especies adaptadas.

Palabras clave: Polinizadores, floración, biodiversidad

### Introducción

Desde hace al menos 15 años, los expertos han alertado sobre la necesidad de proteger de manera urgente a los polinizadores naturales. Entre los más relevantes se encuentran las abejas y los abejorros, especies sin las cuales desaparecerían cientos y quizá miles

de especies animales y vegetales. Las abejas polinizan uno o más cultivos de más del 66% de las 1,500 especies de cultivos del mundo y son directa o indirectamente esenciales para un estimado de entre el 15-30% de la producción de alimentos. En la actualidad, los agricultores que gestionan la polinización en las granjas o en los invernaderos dependen de las aproximadamente 20,000 especies de abejas que hay en el mundo (Halder *et al.*, 2019; Esquivel *et al.*, 2020).

Las actividades derivadas de la agricultura han intensificado el uso del suelo, y la presión agroeconómica por la tierra ha provocado la pérdida y la degradación de los agroecosistemas alrededor del mundo, estas actividades han propiciado la desaparición de la biodiversidad, incluyendo la disminución de poblaciones de insectos (Kőrösi *et al.*, 2022). Diversas empresas y corporativos de todos los niveles, como PepsiCo, han implementado estrategias de responsabilidad social que fomentan la sostenibilidad y que contribuyen a un sistema agroalimentario sostenible. Uno de los objetivos de PepsiCo es implementar un modelo denominado agricultura positiva (PepsiCo, 2020), en el que se incluyen prácticas agrícolas inteligentes, inclusivas y amigables con el agroecosistema. La característica principal de los modelos de agricultura regenerativa es el aumento y la mejora de la salud del suelo, reducir las emisiones de carbono, mejorar la gestión de cuencas hidrográficas, incrementar la biodiversidad y mejorar la calidad de vida de los productores agrícolas (Lal, 2015; Yang *et al.*, 2022). Bajo el contexto anterior el objetivo del estudio es evaluar el comportamiento de las especies vegetales florales y su relación con los polinizadores insectiles asociados, en un nicho perenne rodeado por un cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y por hortalizas en malla sombra, para seleccionar las plantas que mejor se adapten a las condiciones edafoclimáticas del Valle del Yaqui, Sonora.

## **Fundamentación teórica**

La disminución global de la biodiversidad en todos los ecosistemas donde el hombre tiene acceso ha dado por resultado, una necesidad imperante de entender las relaciones entre las diferentes especies de plantas y animales para que sea sostenible la supervivencia humana. La polinización es un proceso ecológico clave para más del 35% de las plantas consumidas por el hombre, las cuales no pueden realizar la transferencia de polen por sí solas (Senapathi *et al.*, 2015). Dentro del reino Animalia, la clase Insecta es la más diversa y abundante, ya que han colonizado todos los ecosistemas terrestres y posee más de 5.5 millones de especies, de las cuales aproximadamente sólo la quinta parte ha sido descrita (Wajnberg & Desouhant, 2018). Las abejas, avispas, hormigas y otras especies similares, constituyen el orden *Hymenoptera*, que posee a los polinizadores más importantes de las angiospermas (Branstetter *et al.*, 2017).

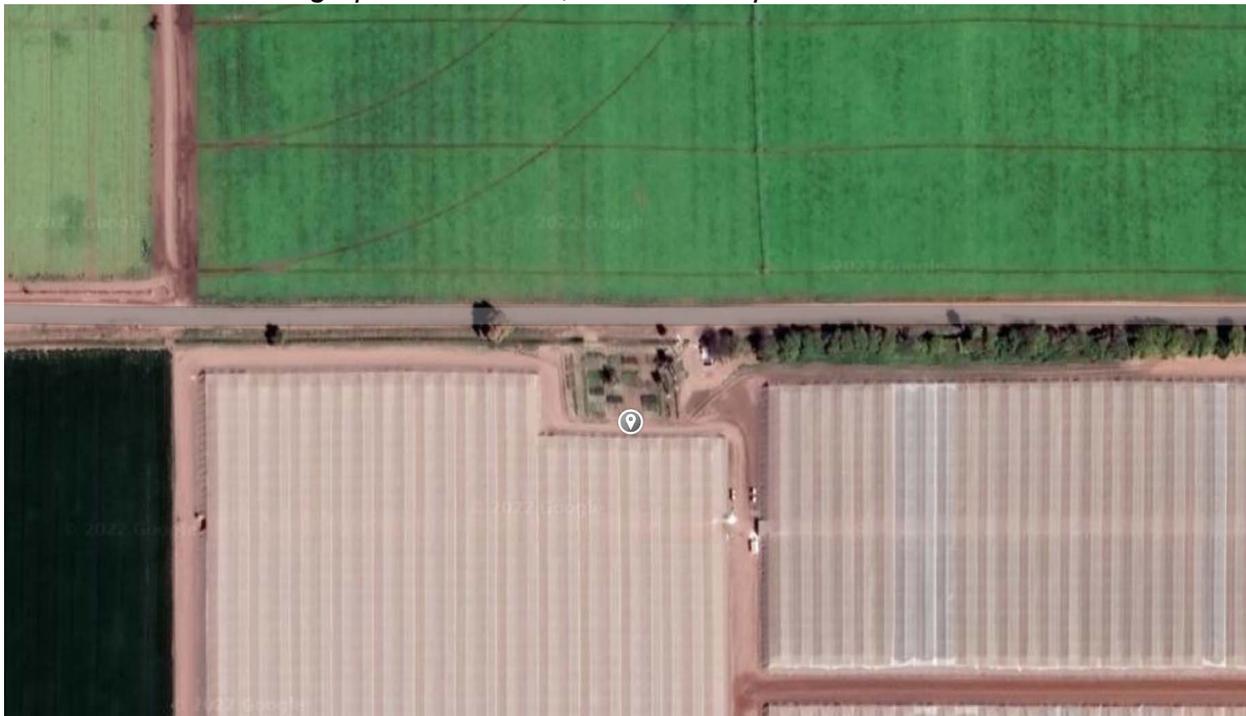
Existen diferentes estrategias que se pueden considerar para favorecer las poblaciones de polinizadores, en México se han implementado las áreas naturales protegidas (ANP) para la conservación de una amplia diversidad biológica; este tipo de áreas suelen ser refugio y fuente de nutrientes para diversas especies de polinizadores, los cuales suelen realizar la labor de polinización en especies vegetales silvestres y domesticadas dependiente de los mismos (Ramírez *et al.*, 2021). En cultivos comerciales de huertas frutales como almendras (*Prunus dulcis*), manzano (*Malus doméstica*), y además de diversas hortalizas, se introducen artificialmente abejas melíferas (*Apis mellifera*) administradas (Klein *et al.*, 2012), esto funciona para la producción de estos cultivos, pero no favorece las poblaciones de polinizadores nativos. La biodiversidad del ambiente circundante es clave para la intensidad de la polinización y el rendimiento de los cultivos que la requieren (Chatterjee *et al.*, 2020). En la producción de cultivos orgánicos, la frecuencia de visitas de las moscas de las flores (*Sírfidas*) fue mayor en estos sistemas de cultivo independientemente del hábitat natural circundante (urbano o convencional), sin embargo, la frecuencia de visitas de las abejas silvestres sólo se incrementó con la agricultura orgánica cuando los huertos estaban rodeados por un hábitat natural de al menos un 10%. Otros esfuerzos se han dirigido a fomentar el hábitat natural alrededor de las huertas convencionales o bien establecer en los alrededores de los cultivos agrícolas, jardines mixtos o parches florales que imiten los recursos alimenticios y de anidación proporcionados por el hábitat natural para los polinizadores silvestres o nativos (Garibaldi *et al.*, 2014). Es necesario un enfoque holístico de los agroecosistemas, estrategias a largo plazo que reconozcan y midan la biodiversidad, eso permitirá aumentar la riqueza y calidad del polen y los polinizadores, rendimiento de los cultivos con sus correspondientes impactos económicos y sociales (Senapathi *et al.*, 2015).

## Método

**Lugar de realización del estudio.** El jardín fue introducido el nueve de diciembre de 2020 en 1200m<sup>2</sup> de un agricultor cooperante en el Valle del Yaqui, Sonora (27.39, -110.06), por iniciativa de la Coordinación de Sostenibilidad de la empresa PepsiCo; la ubicación del terreno se indica en el croquis de la Figura 1. Las especies vegetales se transplantaron, se regó semanalmente por gravedad y fertilizó con UAN 32 (el manejo agronómico se llevó a cabo por el personal de la agrícola). Se utilizó el diseño que se muestra en la Figura 2, se distribuyeron al azar en las parcelas cuadradas centrales cuatro especies perennes: Texas ranger (*Leucophyllum frutescens*), Albahaca (*Ocimum basilicum*), Ruelia (*Ruellia simplex*), Lantana (*Lantana cámara*) y cuatro de temporada: Zinnia (*Zinnia elegans*), Caléndula (*Calendula officinalis*), Alyssum (*Lobularia marítima*) y Margarita africana (*Azania rigens*); se estableció una barrera a ambos lados de Texas ranger (*L. frutescens*). Las plantas utilizadas no son nativas de la región Sur de Sonora, sin embargo, se eligieron porque se utilizan en jardines y sitios públicos de la región.

Figura 1

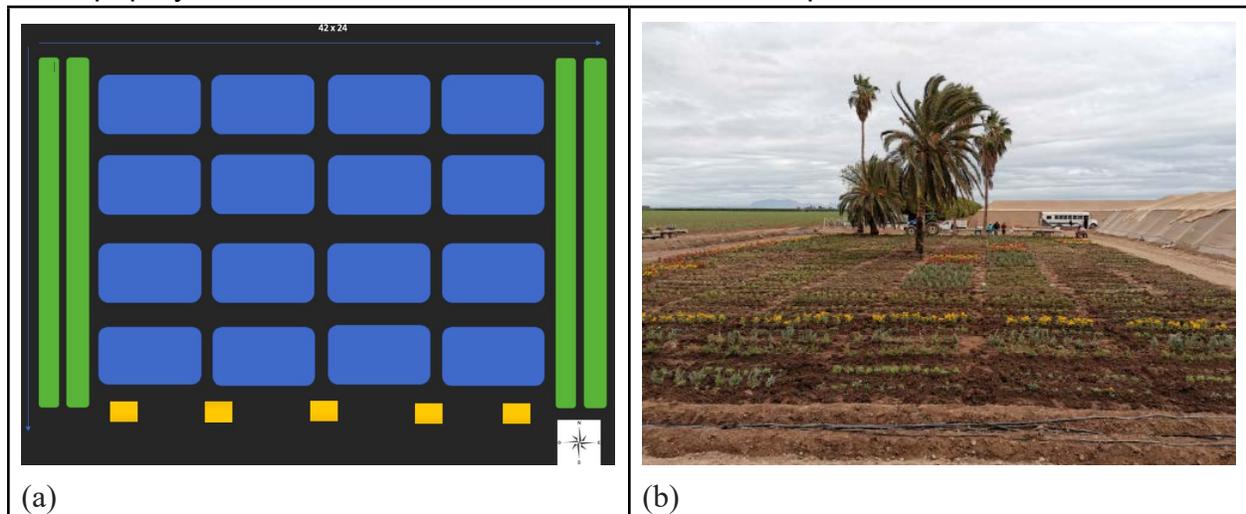
*Ubicación del nicho perenne para polinizadores rodeado por el cultivo de papa y hortalizas en malla sombra en Agropecuaria Gabo, Valle del Yaqui Sonora*



Fuente: <https://www.google.com/maps/@27.3908808,-110.0679288,360m/data=!3m1!1e3>

Figura 2

Diseño (a) y establecimiento en campo (b) del nicho perenne para polinizadores en cultivo de papa y hortalizas en malla sombra en Valle del Yaqui, Sonora



**Variables de estimación.** El monitoreo de las especies vegetales e insectiles se llevó a cabo en diez visitas al nicho perenne, de septiembre a noviembre de 2021, entre 8:00 y

11:00 am en días sin lluvia. Se determinó el porcentaje de flores activas (que reciben polinizadores) por metro cuadrado, así como largo y ancho de la corola floral con un vernier, se midió por triplicado tal como lo reporta Aguado *et al.*, 2019. El monitoreo de la fauna insectil asociada a cultivos se llevó a cabo de manera semanal por observación directa (visita a las partes reproductivas de las flores del nicho), red y sacudidas. Se reporta por orden taxonómico de insectos, con las siguientes claves de conteo 1:  $\leq 1$  insectos; 2:  $> 1$  y  $\leq 5$  insectos y 3:  $\geq 6$  insectos.

## Resultados y discusión

**Diagnóstico del nicho.** El 9 de septiembre de 2021 se realizó una visita de diagnóstico al jardín en la cual se pudieron encontrar poblaciones de cuatro de las ocho especies introducidas: Texas ranger (*L. frutescens*), Albahaca (*O. basilicum*), Ruelia (*R. simplex*) y Lantana (*L. camara*). De Zinia (*Z. elegans*) y Caléndula (*C. officinalis*), solo se encontraron una y tres plantas respectivamente en septiembre, mas no prevalecieron hasta diciembre.

Figura 3

Estado del nicho perenne para polinizadores en septiembre de 2021 (a) y enero de 2022 (b)



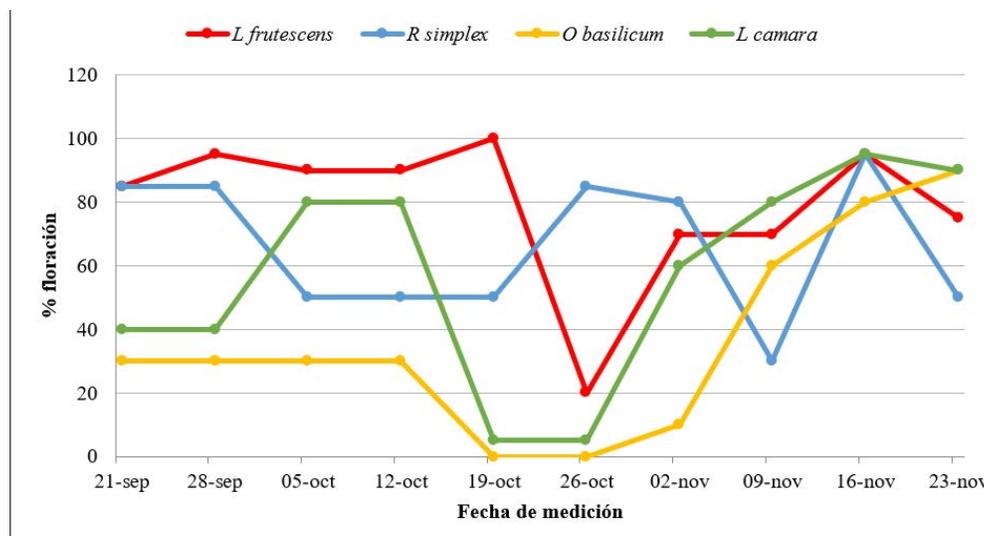
Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-norte/mexico/sonora/ciudad-obregon-3417/>

**Floración.** Se llevaron a cabo 10 monitoreos al jardín entre septiembre y diciembre de 2021. En la Figura 4 se presenta la presencia de floración en porcentaje por m<sup>2</sup> de los cultivos. De manera general la floración de Albahaca (*O. basilicum*) y Lantana (*L. camara*) fué hasta 50% más alta al comparar la misma especie en noviembre que en septiembre, presumiblemente favorecida por la temperatura más baja (6°C menos).

Las condiciones climatológicas que prevalecen en el Valle del Yaqui durante los meses más calurosos de mayo a septiembre, son poco aptas para mantener cultivos en verano, las temperaturas alcanzan hasta 45°C según los datos históricos del Servicio Meteorológico Nacional; tanto en campo abierto como en sistemas protegidos, son muy pocos los cultivos que soportan tales condiciones; por lo anterior la prevalencia de especies vegetales florales de temporada como Zinia (*Z. elegans*) y Caléndula (*C. officinalis*) era poco probable, sobreviven con un adecuado riego y manejo, solo aquellas especies que estén más adaptadas a clima semi árido. Las condiciones climatológicas en las que se presentan altas temperaturas provocan alteraciones espacio-temporales entre las interacciones de las plantas y los polinizadores, además del color, la forma y el olor de las flores, haciéndolas menos atractivas para los insectos polinizadores y disminuyendo las tasas de polinización (Delle-Vedove *et al.* 2017).

Figura 4

Porcentaje de floración en las especies vegetales establecidas en el nicho perenne para polinizadores en el cultivo de papa y hortalizas en malla sombra en el Valle del Yaqui, Sonora



En el mes de octubre, ocurrió un desabasto del riego por dos semanas, la falta de agua afectó entre 80 y 90% la floración en Texas ranger (*L. frutescens*), Albahaca (*O. basilicum*) y Lantana (*L. camara*), sin embargo en Ruelia (*R. simplex*) se mantiene y aún aumenta 35% al final de octubre; el impacto de un manejo agronómico deficiente genera estrés hídrico que afecta diversos estadios de crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo la floración, lo cual impacta negativamente las interacciones planta-polinizador (Descamps *et al.*, 2021). Este tipo de irregularidades en el desarrollo y reproducción de las plantas impactan directamente en el número de frutos, la biomasa aérea y por ende en los rendimientos totales de producción (Villalobos-González *et al.*, 2016).

Texas ranger (*L. frutescens*), Ruelia (*R. simplex*), Zinnia (*Z. elegans*) y Caléndula (*C. officinalis*), poseen flores que por su tamaño fue factible medir (Tabla 1) y coinciden con la descripción botánica de la Red de Herbarios del Noroeste de México y el SEINet Arizona Nuevo México. Albahaca (*O. basilicum*) y Lantana (*L. camara*), que constituyen el 33% de las especies monitoreadas, tienen flores tan pequeñas que no es posible una medición objetiva.

Tabla 1

**Características de la corola en flor de Texas ranger (*L. frutescens*) y Ruelia (*R. simplex*)**

Fecha de medición	Texas ranger ( <i>L. frutescens</i> )		Ruelia ( <i>R. simplex</i> )	
	Largo*	Ancho*	Largo corola <sup>ns</sup>	Ancho <sup>ns</sup>
	----- mm -----			
21-sep	23.7 ab	11.3 a	45.7	11.7
05-oct	20.0 c	10.3 a	38.7	20.3
12-oct	21.3 bc	11.7 a	41.0	19.3
26-oct	19.3 c	10.7 a	40.3	19.3
02-nov	20.0 c	11.3 a	38.0	20.3
09-nov	21.0 bc	10.7 a	40.7	14.0
16-nov	21.7 bc	8.3 b	40.7	19.3
23-nov	25.3 a	11.0 a	39.0	19.3

\*Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )

\*\*Diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ )

<sup>ns</sup> Diferencias no significativas

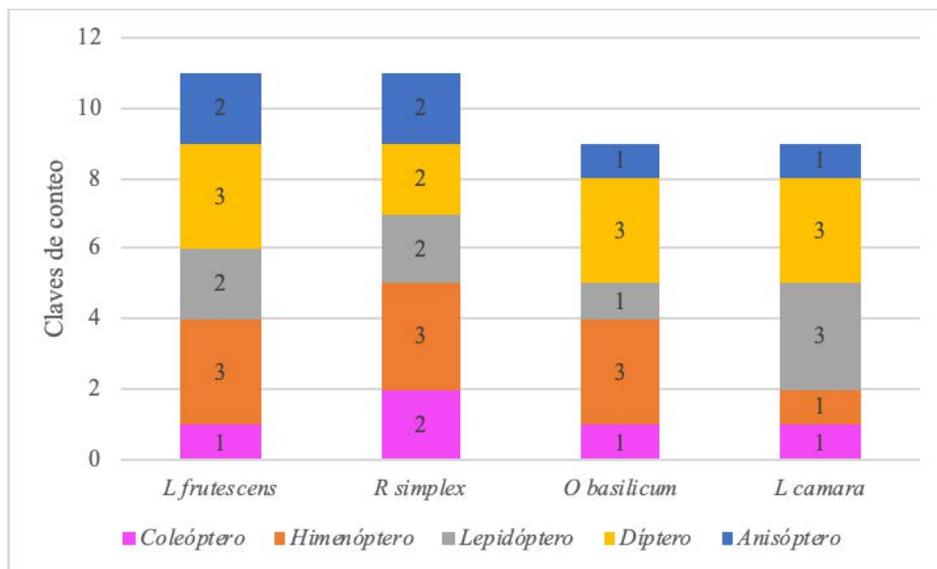
El análisis de varianza aplicado para corola de la flor de Ruellia (*R. simplex*) no detectó diferencias significativas en las dimensiones de la corola a través del tiempo, sin embargo en Texas ranger (*L. frutescens*) se establecen diferencias estadísticamente significativas tanto en largo como en ancho, sobresaliendo las flores más grandes en los meses de septiembre y noviembre y las más pequeñas a finales de octubre, éstas últimas coinciden con el estrés por falta de riego que afectó el tamaño de la flor, así como la cantidad; Youinis *et al.* en 2017 reportaron disminución en área foliar, longitud de la raíz y tasa de fotosíntesis de *L. frutescens* cuando fué sometida a sequía.

**Fauna insectil asociada.** Los Dípteros son el Orden de insectos con más detecciones (28%) como podemos ver en la Figura 5, le siguen Himenópteros (25%), Lepidópteros (20%) y en menor medida Anisópteros (15%) y Coleópteros (13%); Gavi *et al.*, (2021), reportan en las plantas con polinización diurna como las utilizadas en el presente estudio,

Dípteros (47%), Himenópteros (41%) y Coleópteros (12%) y en menor medida Lepidópteros. Texas ranger (*L. frutescens*) y Ruelia (*R. simplex*) son las plantas con mayor cantidad de polinizadores, sin embargo, en las cuatro especies se presentaron los cinco órdenes monitoreados.

Figura 5

Órdenes de insectos identificadas en las especies vegetales establecidas en el nicho perenne para polinizadores en cultivo de papa y hortalizas en malla sombra en Valle del Yaqui, Sonora.

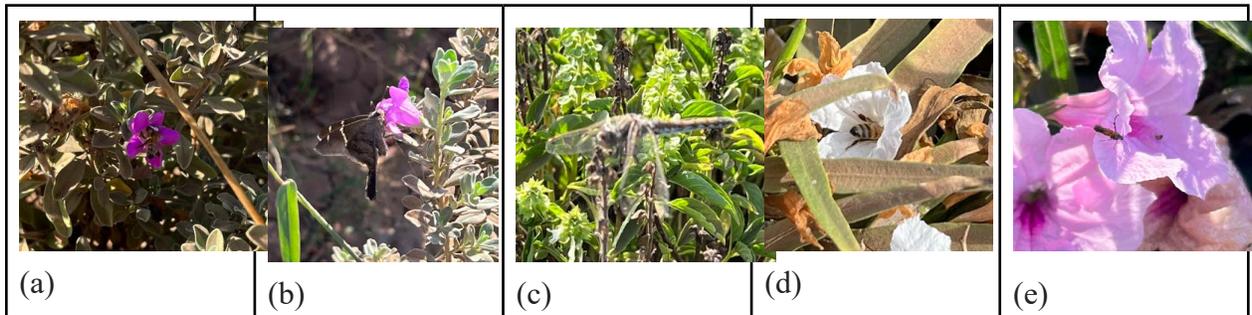


Nota: Claves de conteo 1:  $\leq 1$  insectos; 2:  $> 1$  y  $\leq 5$  insectos y 3:  $\geq 6$  insectos.

Los escarabajos del orden Coleóptero succionan los pétalos tiernos, ingieren polen y néctar, se aparean, descansan y defecan dentro de las flores; fueron detectados entre 1 y 5 insectos en las flores de Texas ranger (*L. frutescens*), Ruelia (*R. simplex*), Albahaca (*O. basilicum*) y Lantana (*L. camara*). Ruelia es un género de plantas ornamentales muy populares y de corolas coloridas, que van desde el amarillo, rojo y púrpura; siendo estos últimos dos los colores mas comunes producidos por las antocianinas que produce la planta, lo que la hace una planta atrayente de insectos polinizadores (Kamaruddin & Zailipah, 2020). Las abejas y abejorros son de los insectos polinizadores más conocidos del orden Himenóptero, que también agrupa avispa y hormigas; perciben colores ultravioletas y complementarios, por lo que les atraen las flores de color azul, púrpura como las de Ruelia (*R. simplex*) y amarillo como Lantana (*L. camara*); además del aroma característico de Albahaca (*O. basilicum*) (Chambers *et al.*, 2004). Estos ecosistemas diseñados para polinizadores son de suma importancia, principalmente para el orden Himenóptero, ya que los polinizadores de este grupo han demostrado ser resilientes y son de suma importancia para el desarrollo de los agroecosistemas, por lo que se han realizado grandes esfuerzos en preservar y proteger este tipo de insectos (Theodorou *et al.*, 2020).

Figura 6

Órdenes de insectos identificadas en las especies vegetales establecidas en el nicho perenne para polinizadores en cultivo de papa y hortalizas en malla sombra en Valle del Yaqui, Sonora.



Nota: (a) y (d) Himenóptero, (b) Lepidóptero, (c) Anisoptero y (e) Díptero.

Las mariposas, pertenecientes al orden de *Lepidópteros* son importantes polinizadores, además de indicadores de la calidad ecológica del hábitat; son atraídas por flor de color rojo, rosa, amarillo como las de *L. camara* (más de 6), púrpura *L. frutescens* y *R. simplex* (entre 1-5) (Chambers *et al.*, 2004). Los Dípteros son insectos en los que el segundo par de alas están modificadas para dirigir el vuelo; las moscas polinizadoras se alimentan de néctar y polen, son muy abundantes en el desierto Sonorense y algunas tienen apariencia y vibración similar a las abejas (<https://www.naturalista.mx/taxa/49995-Syrphidae>); las moscas de la familia *Syrphidae* contribuyen además de la polinización como potentes depredadoras de *áfidos* (Dunn *et al.*, 2020). Se detectaron uno o menos en las plantas sobrevivientes de *C. officinalis*, entre 1-5 en *R. simplex* y más de 6 en *L. camara*, *O. basilicum* y *L. frutescens*.

Las libélulas del orden *Anisoptera* están reportadas como depredadoras de insectos polinizadores, por lo que alteran su comportamiento como tal en la búsqueda de alimento (Knight *et al.*, 2005), de este orden se contabilizó sólo 1 en *L. camara* y de 1-5 en *R. simplex* y *L. frutescens*.

La gran diversidad de plantas en el jardín en comparación con los monocultivos de papa, aumenta la afluencia de insectos tanto benéficos como perjudiciales, y las poblaciones se tienden a autorregularse entre sí, así lo refieren Wetzel *et al.* (2016) al afirmar que la diversidad de plantas influye en los insectos que se alimentan de ellas tras analizar 53 especies de insectos, en su mayoría orugas, así como saltamontes, escarabajos, pulgones y moscas. Se ha llegado a afirmar que la biodiversidad de los seres vivos en general incluso limita los brotes de enfermedades entre los humanos y la vida silvestre (Civitello *et al.*, 2015).

## Conclusiones

Las especies mejor adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del Valle del Yaqui, como parte de un nicho para polinizadores, fueron las plantas perennes: Albahaca (*O. basilicum*), Lantana (*L. cámara*), Texas ranger (*L. frutescens*) y Ruelia (*R. simplex*), estas especies fueron visitados por moscas (Dípteros), abejas (Himenópteros), mariposas y palomillas (*Lepidópteros*) todos ellos considerados polinizadores de importancia ecológica en zonas semiáridas como el Valle del Yaqui, Sonora.

Se recomienda optimizar el manejo agronómico del jardín, ya que no se está proporcionando el riego y nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo de las plantas; además llevar a cabo un monitoreo e identificación más detallado y exhaustivo para determinar la dinámica de interacción entre las especies de plantas y polinizadores registradas en el bio sistema de producción estudiado.

## Referencias

- Aguado, D., Gutiérrez-Chacón, C. & Muñoz, M. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta-polinizador de un agroecosistema en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2):331-342.
- Branstetter, M. G., Danforth, B. N., Pitts, J. P., Faircloth, B. C., Ward, P. S., Buffington, M. L., & Brady, S. G. (2017). Phylogenomic insights into the evolution of stinging wasps and the origins of ants and bees. *Current Biology*, 27(7):1019-1025. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.73177>.
- Badenes-Pérez F. R. (2022). Plant-Insect Interactions. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(9), 1140. <https://doi.org/10.3390/plants11091140>
- Chatterjee, A., Chatterjee, S., Smith, B., Cresswell, J. & Basua, P. (2020). Predicted thresholds for natural vegetation cover to safeguard pollinator services in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290, 106785. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106785>
- Civitello, D., Cohen, J., Fatima, H., Halstead, N., Liriano, J., McMahon, T., Ortega, N., Sauer, E., Sehgal, T., Young, S. & Rohr, J. (2015) Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect. *Proceedings of the National Academy of Science*, 112(28). <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1506279112>
- Descamps, C., Quinet, M., & Jacquemart, A. L. (2021). The effects of drought on plant–pollinator interactions: What to expect?. *Environmental and Experimental Botany*, 182, 104297.
- Delle-Vedove, R., Schatz, B., & Dufay, M. (2017). Understanding intraspecific variation of floral scent in light of evolutionary ecology. *Annals of Botany*, 120(1), 1-20.
- Dunn, L., Lequerica, M., Reid, C.R. & Latty, T. (2020). Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents. *Pest Management Science*, 76: 1973-1979. <https://doi.org/10.1002/ps.5807>

- Esquivel, I. L., Coulson, R. N., & Brewer, M. J. (2020). A native bee, *Melissodes tepaneca* (Hymenoptera: Apidae), benefits cotton production. *Insects*, 11(8), 487.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Leonhardt, S.D., Aizen, M.A., Blaauw, B.R., Isaacs, R., Kuhlmann, M., Kleijn, D., Klein, A.M., Kremen, C., Morandin, L., Scheper, J. & Winfree, R. (2014). From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12: 439-447. <https://doi.org/10.1890/130330>
- Giavi, S., Fontaine, C. & Knop, E. (2021). Impact of artificial light at night on diurnal plant-pollinator interactions. *Nature Communications*, 12, 1690. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22011-8>
- Halder, S., Ghosh, S., Khan, R., Khan, A. A., Perween, T., & Hasan, M. A. (2019). Role of pollination in fruit crops: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 8(5), 695-702.
- Klein, A. M., Brittain, C., Hendrix, S. D., Thorp, R., Williams, N., & Kremen, C. (2012). Wild pollination services to California almond rely on seminatural habitat. *Journal of Applied Ecology*, 49(3), 723-732. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2012.02144.x>
- Knight, T., McCoy, M., Chase, J. et al. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature*, 437, 880–883. <https://doi.org/10.1038/nature03962>
- Kőrösi, Á., Dolek, M., Nunner, A., Lang, A., & Theves, F. (2022). Pace of life and mobility as key factors to survive in farmland—Relationships between functional traits of diurnal Lepidoptera and landscape structure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 334, 107978.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.
- Ortega-Rivera, K., Flores-Hernández, N., Zarza, H., & Chávez, C. (2019). Caracterización del estado fitosanitario de *Quercus obtusata* Bonpl., en bosque mesófilo de montaña, Xicotepec, Puebla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(53), 64-85.
- PepsiCo (2020). 2020 Sustainability Report Summary, 15 de junio 2022, <https://www.pepsico.com.mx/sustentabilidad/reporte-de-sustentabilidad>
- Ramírez, V. M., González, H. D., Saide, P. M., Santos, J. C., & Salas, C. S. (2021). Diversity and ecology of bees, predatory wasps and butterflies: contributions from ccba-uady. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3).
- Senapathi D., Biesmeijer J.C., Breeze T.D., Kleijn D., Potts S.G., Carvalheiro L.G. (2015) Pollinator conservation—the difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity. *Current Opinion in Insect Science*, 12:93–101. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.11.002>
- Theodorou, P., Radzevičiūtė, R., Lentendu, G., Kahnt, B., Husemann, M., Bleidorn, C., ... & Paxton, R. J. (2020). Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nature communications*, 11(1), 1-13.
- Villalobos-González, A., López-Castañeda, C., Miranda-Colín, S., Aguilar-Rincón, V. H., & López-Hernández, M. B. (2016). Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1651-1665.
- Wajnberg, E., & Desouhant, E. (2018). Editorial overview: Behavioural ecology: Behavioural ecology of insects: current research and potential applications. *Current Opinion in Insect Science*, 27(1), 8-11.

- Wetzel, W., Kharouba, H., Robinson, M., Holyoak, M. & Karban, R. (2016). Variability in plant nutrients reduces insect herbivore performance. *Nature* 539, 425–427. <https://doi.org/10.1038/nature20140>.
- Yang, H., Wang, X., & Bin, P. (2022). Agriculture carbon-emission reduction and changing factors behind agricultural eco-efficiency growth in China. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130193.

# Capítulo 4

## Generador y analizador de señales PWM para la evaluación de máquinas hidráulicas

Adolfo Espinoza Ruiz  
Pablo Limón López  
Erica Cecilia Ruíz Ibarra  
Joaquín Mass Sánchez

### Resumen

Las máquinas hidráulicas cuentan con sistemas electrónicos para su control, dichos sistemas demandan mantenimiento constante, es por ello que se requiere de un equipo funcional para evaluar dichos sensores. Este trabajo tiene como objetivo diseñar un equipo que sea capaz de tomar mediciones y generar señales PWM para diagnosticar el funcionamiento de máquinas hidráulicas. Para el desarrollo del sistema se utilizó un microcontrolador PIC18F4550, programado en lenguaje C en el IDE del software MikroC Pro para PIC y para realizar las simulaciones del diseño del generador y analizador de señales PWM se empleó el software Proteus versión 8.7. Como contribución se realizó un diseño funcional que puede ser aplicado para el diagnóstico obteniendo resultados suficientes como lo es el análisis de la señal PWM en un rango de 20 Hz a 10 kHz y en la generación con un rango de 492 Hz a 8.9 kHz, sin embargo, se presentó una serie de inconvenientes ya que al momento de estar generando la señal PWM ésta al ir aumentando o disminuyendo su frecuencia incrementa en intervalos y no continua, lo cual no afectó el desempeño del sistema.

Palabras clave: Equipo de diagnóstico, PWM, sensores y actuadores

### Introducción

A lo largo de la historia como se conoce, el hombre buscó facilitar el trabajo con la creación de máquinas para solventar las necesidades que se tenían en su momento. El hombre coloca a su servicio la máquina, con el fin de producir una mayor cantidad de productos, con una mejor calidad y un menor esfuerzo físico, reduciendo los riesgos de accidente y los costos de producción (MICRO, 2016).

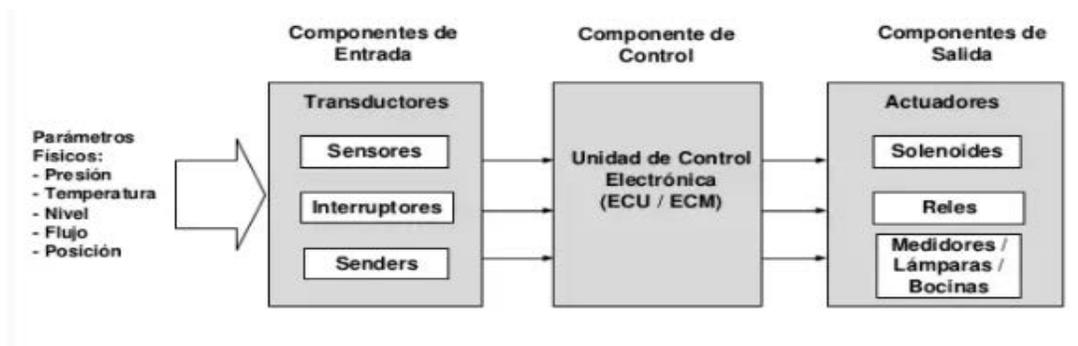
Actualmente en las industrias existen una gran variedad de máquinas, en las que se encuentran las de tipo hidráulicas, neumáticas y eléctricas. Con carácter general, puede decirse que una máquina de fluido es un sistema mecánico que intercambia energía mecánica con el fluido que está contenido o que circula a través de él (Zamora y Viedma, 2016).

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo. Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, prensas, máquinas de laminación, ascensores y montacargas (Creus, 2007)

En la actualidad dichas máquinas tienen tecnología avanzada para su control, ya que cuentan con sensores digitales que utilizan un método para mandar la información llamado Modulación de Ancho de Pulso (PWM), “El PWM (Pulse Width Modulation por sus siglas en inglés) es una forma muy eficaz de establecer cantidades intermedias de potencia eléctrica entre la máxima potencia y apagado. Una fuente de alimentación con un interruptor de alimentación simple proporciona potencia sólo cuando está activado” (Henaio, 2016) por ejemplo, para indicar la posición en donde se encuentre el actuador, por otra parte, también se utiliza PWM para indicar a la entrada del controlador del actuador, la posición en la que se quiere colocar. Los requisitos de uso determinarán la selección de cada dispositivo.

Los sensores digitales se utilizan para medir una variedad de parámetros físicos tales como posición, temperatura, nivel, fuerza, presión, etc. Además, cuentan con un cerebro del núcleo electrónico, que son las Unidades de Control Electrónico (ECU) es decir, pequeñas computadoras, conectadas a sensores y solenoides, que controlan uno o más sistemas eléctricos o subsistemas de un vehículo” (Lara, 2014) como se muestra en la Figura 1.

Figura 1.  
*Sistema de control electrónico*



Con el gran avance que se ha tenido en las máquinas mecánicas al añadirles tecnología electrónica para un mejor desempeño del sistema y satisfacción del operador, se ha complicado el mantenimiento y la reparación de estos equipos en los casos de que presenten fallas. Ante este escenario, este trabajo tiene por objetivo diseñar un equipo de prueba que mida y genere señales PWM para la evaluación del funcionamiento de sensores digitales de las máquinas hidráulicas mediante software y validar mediante simulación, con la finalidad de ofrecer un análisis de calidad donde un operador pueda obtener un diagnóstico del funcionamiento de la máquina, de forma rápida y oportuna.

En la actualidad no existe un diseño comercial que proporcione las mediciones para el diagnóstico completo de sensores digitales en un mismo producto, los beneficios serían tener las mediciones que ayuden para un análisis eficiente de una manera sencilla y práctica siendo de bajo costo, por lo que será accesible a los pequeños talleres, ya que para ellos es difícil el acceso a equipo especializado debido al costo y además que se debe contar con personal calificado para el correcto interpretación de los resultados que se obtienen con dichos equipos, con este equipo no se tendría problema en poderlo adquirir ni la necesidad de algún curso para su utilización e/o interpretación de los resultado que se obtendrán.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La sección I presenta una breve introducción en la que se plantea el nicho de oportunidad, y se resalta la contribución del proyecto enfatizando los beneficios del mismo. Enseguida, la sección II presenta la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto. Posteriormente, en la sección III se describe la metodología empleada para desarrollar el trabajo y en la sección IV se presenta un análisis de los resultados más relevantes. Por último, en la sección V se puntualizan las conclusiones y se enlistan las referencias que sustentan este proyecto.

## **Fundamentación Teórica**

Las máquinas han estado presentes en la historia del ser humano para el avance, ayudando a realizar tareas que son complicadas de realizarse en forma manual y toma bastante tiempo. Existen máquinas que pueden aprovechar, regular o dirigir la acción de una fuerza, éstas pueden ser de tipo hidráulicas, neumáticas o eléctricas.

Las máquinas de fluidos, y particularmente las máquinas hidráulicas, han sido utilizadas desde tiempos históricos. La bomba es uno de los ingenios más antiguos que se conocen para intercambiar energía mecánica con un fluido (Zamora y Viedma, 2016). Esto tuvo una gran afluencia a partir de la primera revolución industrial que trajo consigo un gran conjunto de transformaciones en la maquinaria.

Las máquinas hidráulicas pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios de acuerdo con Zamora y Viedma (2016). El presente trabajo se enfoca en los sistemas hidráulicos que se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo. Tienen las siguientes ventajas: Gran potencia transmitida con pequeños componentes, posicionamiento preciso, arranque con cargas pesadas, movimientos lineales independientes de la carga ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control, operación suave e inversa, buen control y regulación y disipación favorable de calor (Creus, 2007). La implementación de estas máquinas se hace generalmente con actuadores, y sensores conectados a un controlador.

Las máquinas hidráulicas para ser llamadas de tal forma deben contener un fluido que es incompresible el cual intercambia energía como ya se explicó anteriormente, dichas máquinas están compuestas por varios componentes que conforman el sistema hidráulico (Figura 2) para poder accionar o mover cualquier objeto.

Figura 2  
*Sistema hidráulico*



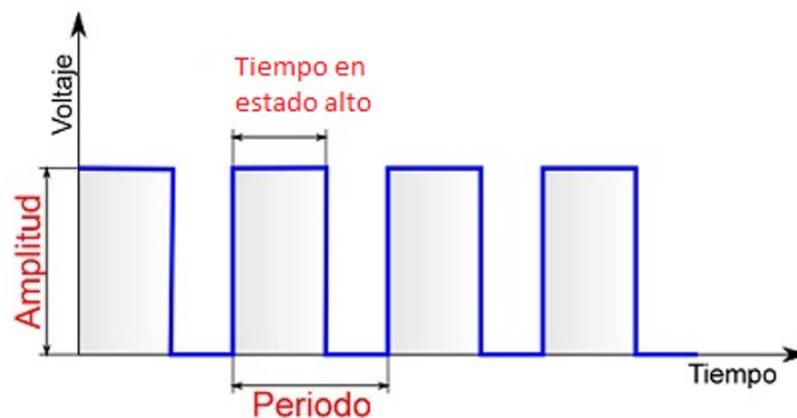
Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de la transformación de la energía hidráulica, neumática o eléctrica. Estos, al recibir una orden de un controlador, generan una salida la cual acciona un elemento final del control, como una válvula para accionar un elemento final de un control, por ejemplo, el actuador.

Los sensores son dispositivos muy importantes, ya que por medio de ellos se toma la lectura de la entrada en un sistema de control, la cual es procesada por un controlador para poder tomar una decisión y poder accionar un elemento.

Tanto los sensores como actuadores se utilizan modulación por ancho de pulso para comunicarse con los sistemas de control. La modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés, Pulse Width Modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica, la cual se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde equipos de medición hasta comunicaciones para el control de energía o potencia (Muranla *et al.*, 2017)

Una señal PWM, (Figura 3), consta de dos componentes principales que definen su comportamiento: el ciclo de trabajo (en inglés, duty cycle) y la frecuencia (inversamente proporcional al periodo). El ciclo de trabajo se define como el porcentaje del tiempo en que la señal está en estado alto con respecto al periodo total. Se calcula como  $(T_h/T) * 100$ , en donde  $T_h$  es el tiempo en estado alto y  $T$  es el período de la señal, y la frecuencia determina que tan rápido la modulación por ancho de pulso completa un ciclo.

Figura 3  
Señal PWM



Algunos de los principales sistemas de las máquinas encontrados actualmente se controlan mediante sistemas electrónicos. Los sistemas de control electrónico de las máquinas operan de forma similar a muchos otros sistemas del mercado, como por ejemplo los que se usan en el sector automotriz, las tecnologías de operaciones básicas son las mismas. Cada sistema de control electrónico requiere ciertos tipos de dispositivos de entrada para alimentar la información electrónica al módulo ECU/ECM para el procesamiento.

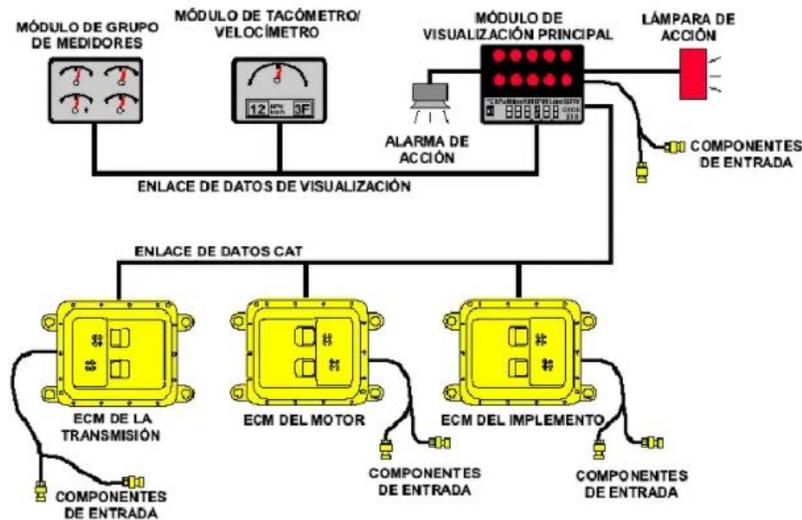
Tomando como referencia los equipos de la empresa Caterpillar, dentro de los dispositivos Electrónicos Caterpillar utilizan dos tipos de módulos electrónicos:

- Módulos electrónicos del tipo monitor
- Módulos electrónicos del tipo Control

El Sistema Monitor Caterpillar es un sistema monitor flexible y modular, que incluye un Módulo de Visualización Principal, diferentes interruptores y sensores, una lámpara y una alarma de acción. El sistema también puede incluir un Módulo de cuatro medidores y/o un Módulo Velocímetro/ Tacómetro, dependientes de la aplicación de la máquina. [10]

La Figura 4 muestra un diagrama de bloques de los sistemas de control y monitoreo electrónico, que monitorean y controlan la operación de los diferentes sistemas de la máquina. El sistema de control electrónico, mostrado en la Figura 4 usa las computadoras para controlar la operación de cada uno de esos sistemas de la máquina [10], como por ejemplo al activar un componente como lo es la activación de un cilindro hidráulico, de igual forma sirve para avisar al operador de una falla que se presente.

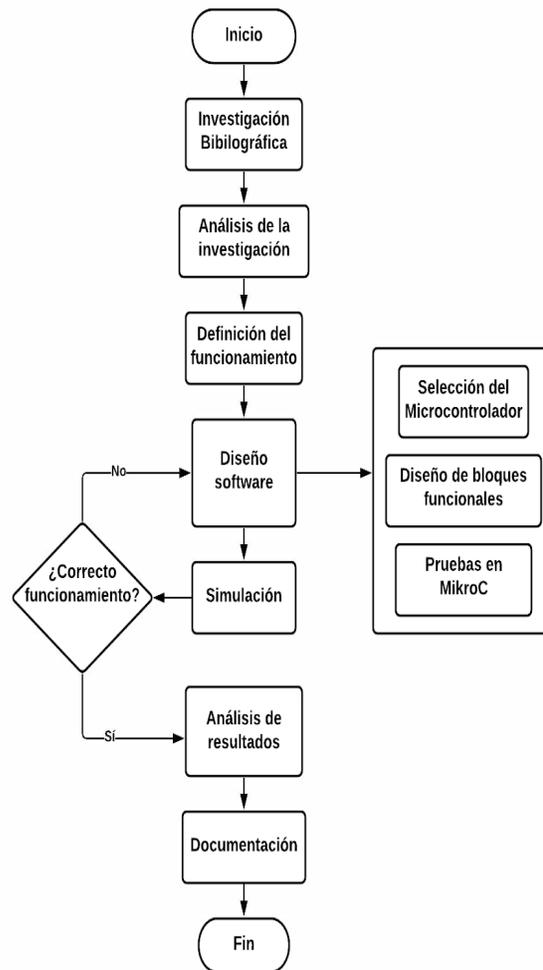
Figura 4  
Diagrama típico de los ECM en equipos Caterpillar



## Método

En la Figura 5 se presenta el procedimiento empleado para desarrollar este trabajo. Primeramente, se realiza una investigación bibliográfica. Se establecen las funciones específicas del sistema para obtener un diseño funcional. Enseguida, se desarrolla el código de cada etapa en mikroC Pro. Posteriormente, se realizan simulaciones para validar el sistema. Se analizan los resultados obtenidos, con el propósito de revisar si son las especificaciones necesarias para el uso que se le va dar. Por último, se lleva a cabo la documentación del proyecto.

Figura 5  
Diagrama de flujo de la metodología



## Desarrollo

Para realizar el diseño del equipo propuesto fue necesario primeramente definir las características y funcionalidades deseadas, las cuales son generar y analizar señales PWM en cualquiera de los escenarios que se presenten o variar los valores para cada caso en particular y ofrecer una confiabilidad de los resultados, además debe contar con una interfaz que permita la comunicación entre el diseño y el usuario de una forma simple.

Posteriormente, se determinó utilizar el software MikroC PRO for PIC (versión 8.2.0) ya que es un completo compilador de ANSI C para los dispositivos PIC de Microchip que ofrece una amplia librería con una facilidad de disponibilidad instantáneamente en la elaboración del código, la cual es muy útil para las interfaces que se realizaron para tener comunicación. En lo que respecta al microcontrolador se utilizó el PIC18F4550 [11] por ser un dispositivo capaz de realizar y controlar varias tareas a la vez contando con bloques

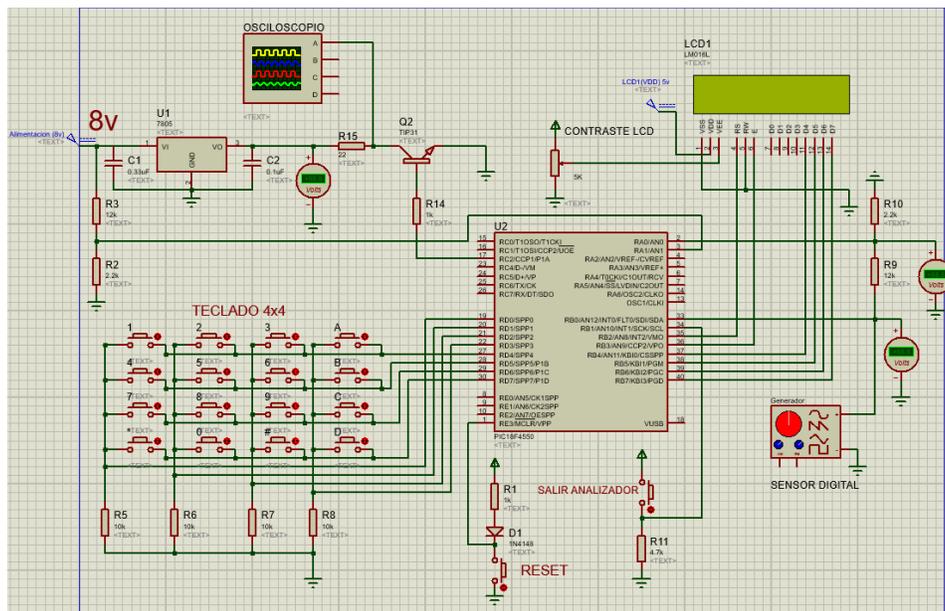
como son los puertos digitales y analógicos, módulo PWM, Timer's, Comparadores, Convertidor ADC, oscilador interno, entre otros necesarios para el desarrollo de este trabajo. Se definieron los parámetros que se deseaban alcanzar para la medición de la señal PWM, tales como:

- Rango de frecuencia. - 500Hz a 30kHz (DC)
- Error de la frecuencia. - 0.1%
- Canales de entrada. – 1
- Lectura voltaje. – 0v a 30v
- Resolución. - 10 bit
- Enseguida, se definieron los parámetros que se deseaban alcanzar para la generación de la señal PWM, que son:
  - Pueda ser alimentado de la propia maquinaria con un voltaje de 5v a 30v
  - Rango de frecuencia. - 500 Hz a 30 kHz
  - Ciclo de trabajo de 0% al 100%
  - Voltaje de salida señal de 5v
  - Corriente de salida 200mA
  - Canales. – 1

Una vez que se definieron las características del sistema se procedió al diseño de la circuitería que cumple con los requerimientos planteados. El circuito propuesto se puede ver en la Figura 6. En este circuito se observan además del microcontrolador PIC18F4550 [11], el teclado y display que sirven como interface de comunicación con el usuario, las fuentes de alimentación del sistema.

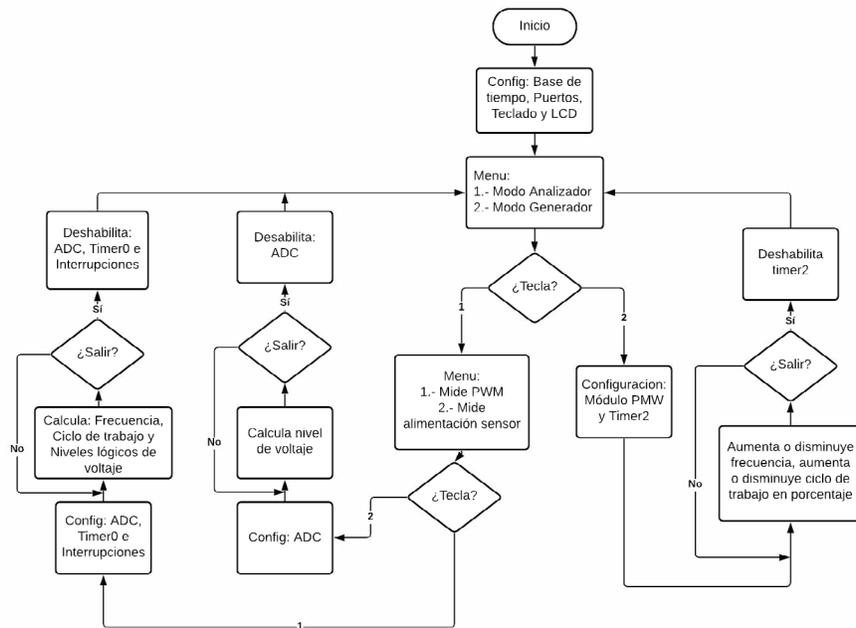
Figura 6.

*Circuito esquemático del diseño en Proteus para la simulación*



Por último, se diseñó el programa en lenguaje C, necesario para el funcionamiento del microcontrolador. En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado.

Figura 7  
Diagrama de flujo del programa desarrollado



## Resultados y Discusión

Para comprobar el correcto funcionamiento del diseño del generador y analizador de señales PWM se validaron las distintas funciones que se estuvieron realizando en el diseño. Se obtuvo una interface amigable tanto para el modo generador de señales PWM como para el modo analizador de señales. Ya que el programa inicialmente mostraba en el LCD un menú de fácil seguimiento que lleva a cualquiera de los dos modos de operación. En el modo generador de señales, se lograron generar señales para prueba desde 492 Hz a 9 kHz con error máximo del 1.8%. En el modo medidor de señal PWM, se pudo medir las señales desde frecuencias de 20Hz a 10 kHz con errores menores al 1%. El sistema desarrollado se implementó en un prototipo funcional portable que se empleó para hacer mediciones. El prototipo se muestra en la Figura 8.

Figura 8

*Implementación física del modelo funcional del sistema diseñado*



## Conclusiones

Los sensores digitales cada día serán más utilizados en distintas aplicaciones ya que ofrecen mayor confiabilidad, sencillez, robustez entre otras cualidades. En la actualidad, dichos sensores se vuelven más sofisticados y como resultado se requiere de equipo especializado para evaluar el funcionamiento de estos. En este caso se logró diseñar un equipo de diagnóstico de sensores digitales, gracias al cual se realiza fácilmente el mantenimiento o reparación de equipo con fallas en los sensores digitales, el sistema es capaz de medir y generar señales PWM para la evaluación de las máquinas hidráulicas de forma rápida, eficiente y de bajo costo.

Este diseño ofrece una gran confiabilidad en el parámetro de la frecuencia a la hora de medir cómo generar las señales PWM. El mayor problema presentado en este trabajo fue al momento de desarrollar el modo generador por no abarcar todas las frecuencias dentro del rango obtenido, ya que el cambio no era continuo sino escalonado por la limitante del timer que ofrece el microcontrolador para el modo PWM, este problema se resolvió identificando la frecuencia generada para hacer cambio de prescaler más reducido sin tener un intervalo demasiado grande, cabe mencionar que esto no afecta la funcionalidad del equipo. Como trabajo futuro se propone implementar el diseño elaborado para realizar pruebas en el campo de aplicación y así realizar mejoras en el desarrollo queriendo lograr un prototipo de producción que pueda ser comercializado.

## Referencias

- Caterpillar (s. f). Dispositivos Electrónicos de Equipos Caterpillar, (Material de consulta del estudiante), Dispositivos Electrónicos Caterpillar, Fining Capacitacion Ltda., Corporativo Oleohidráulico Industrial (2019) Conceptos Básicos de Neumática e Hidráulica, Catálogo, Hidráulica Básica
- Creus, A. (2007) Neumática e Hidráulica, Barcelona, España: Marcombo.
- Finning Cat (s. f), Dispositivos Electrónicos Caterpillar, Finning Sudamerica: Capacitación - FINSA, Departamento de Desarrollo Profesional,.
- Henao, F. (2016) Diseño de redes de aire comprimido y selección de componentes neumáticos, Módulo I, Tecnología Mecánica.
- Lara, A. (2014) De sistema mecánico a sistema tecnológico complejo, El caso de los automóviles, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Base de datos: ELSEVIER
- Medina, J. (2018). Diseño en MatLab de un convertidor PWM, Tesis de grado en Ingeniería en Electrónica, Departamento Tecnología Electrónica, Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales.
- Micro (2016) Introducción a la neumática, Buenos Aires, Argentina: Curso 021, Departamento de Capacitación, Micro Capacitación
- Microchip (2016) Data Sheet PIC18F2455/2550/4455/4550, DS39632C, Microchip Technology Incorporated,.
- Muranla, J., Ordoñez J. y Mosquera (2017) Diseño y construcción de un convertidor dc/dc tipo Boost con PWM ajustable, Scientia et Technica, pp. 9-14.
- Zamora, B. y Viedma, A. (2016) Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas, Cartagena, Colombia: CRAI biblioteca

# Capítulo 5

## Diseño de un algoritmo de localización en un escenario en 3D

Joaquín Mass Sánchez  
Érica Cecilia Ruiz Ibarra  
Adolfo Espinoza Ruiz  
Gilberto Borrego Soto

### Resumen

La localización es uno de los principales problemas en redes de sensores inalámbricos, ya que proporciona la información de la ubicación de un evento. En este trabajo, se analizan las técnicas de localización basadas en distancia: escalamiento multidimensional, cuadrilateración y el algoritmo adaptativo de propagación de plantas en un escenario en 3D. El desempeño de los algoritmos de localización analizados se evalúa en términos de la exactitud, variando el número de nodos ancla y la proporción de ruido. Los resultados de desempeño de los algoritmos de localización analizados se obtienen en el paquete computacional MATLAB, considerando los escenarios de evaluación de desempeño a un solo salto y multisalto, donde se establece una topología fija de cuatro nodos ancla de manera que formen un tetraedro regular. Los resultados obtenidos muestran que los algoritmos de localización de escalamiento multidimensional con enfoque heurístico y el algoritmo adaptativo de propagación de plantas presentan mejor desempeño en términos de la exactitud en el escenario multisalto.

Palabras clave: Localización, WSN, RSS

### Introducción

Actualmente, la evolución de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas, así como los avances en los procesadores respecto al consumo de energía y la velocidad de procesamiento, han generado un gran impacto en la sociedad, teniendo numerosos avances durante los últimos años, entre ellos las redes de sensores inalámbricos. Una red de sensores inalámbricos (WSN - Wireless Sensor Network) es una red con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores extremadamente pequeños capaces de sensar diversas variables físicas en diferentes entornos, entre ellas temperatura, humedad relativa, presión, movimiento, etc., (Verde, 2021). Los dispositivos son

unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor (Alhumud, 2018). Estos dispositivos son de poca capacidad de procesamiento y bajo consumo de potencia.

Algunas aplicaciones de WSN son el monitoreo ambiental, rastreo de objetos, la automatización de procesos industriales, calidad de la energía, Internet de las Cosas (IoT - Internet of the Things), Ciudades Inteligentes (Smart Cities), redes vehiculares (V2V, V2X, V2I), Industria 4.0, entre otras (Landaluce, 2020). Todas estas aplicaciones requieren conocer la localización del evento, ya que la información sensada sólo es útil cuando se conoce la posición geográfica donde ocurre el evento. Por lo tanto, la localización es uno de los problemas fundamentales en WSN, ya que ésta proporciona información útil acerca de la detección de algún evento (Mass, 2017). La localización en WSN consiste en estimar la posición geográfica de un nodo con posición desconocida o nodo de interés (NOI - Node Of Interest), a través de los nodos ancla cuya posición es conocida y de la información de la distancia de separación entre el NOI y sus respectivos nodos ancla. Existen una gran variedad de técnicas de localización, las cuales permiten el desarrollo de protocolos más eficientes en la red que optimizan el ahorro de energía y proporcionan un tiempo de respuesta más rápido, es decir, menor latencia. Por lo tanto, la localización de los nodos en una WSN resulta de gran importancia ya que permite determinar la ocurrencia de un evento dentro de la red. Con lo anterior se plantea la siguiente cuestión. ¿Cuáles técnicas se pueden implementar para localizar de manera precisa y exacta un nodo en la red a partir de otros nodos con posición conocida?. En este trabajo se diseña un algoritmo de localización en un escenario en 3D mediante simulación, con la finalidad de obtener el desempeño de éste en cuanto a exactitud y precisión y analizar su impacto en WSN.

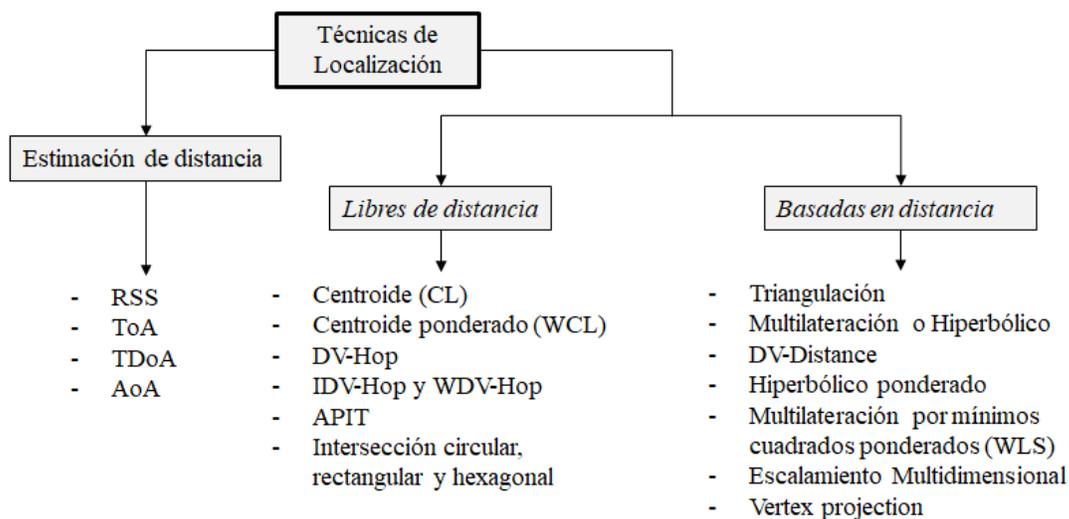
## **Fundamentación Teórica**

Actualmente existe una gran variedad de técnicas para determinar la distancia entre los nodos sensores desplegados en una WSN. Los sistemas GPS (Global Positioning System), originalmente “Navstar GPS” es un sistema de gran utilidad en ambientes exteriores que proporciona posicionamiento, navegación, y cronometría, más no en ambientes interiores (indoors) ya que las señales de radio son interferidas por las construcciones (Eck, 2015). Dentro de los principales retos en la localización en WSN aún sin resolver se tiene la localización en 3D, consumo de energía, seguridad, movilidad, etc., (Zheng, 2016).

En un escenario en 2D, las técnicas de localización se clasifican en dos grupos: basadas en distancia, y libres de distancia o basadas en proximidad (Figura 1) (Sharma, 2018). Las técnicas de localización libres de distancia son aquellas que estiman la posición del nodo de interés (NOI – Node of Interest), mediante la fuerza de la señal recibida (RSS -

Received Signal Strength), por lo que no se necesita estimar la distancia entre un par de nodos. En este grupo se encuentran las técnicas de centroide (CL), centroide ponderado (WCL) (Vargas, 2015), DV-Hop (Mass, 2017), APIT (Yuan, 2018), etc. Por su parte, las técnicas basadas en distancia, necesitan calcular la distancia entre un par de nodos, para estimar la posición del NOI. Dentro de este grupo, se encuentran las técnicas de multilateración (Vargas, 2015), escalamiento multidimensional (MDS - Multidimensional Scaling) (Chaurasiya, 2014), sistemas de posicionamiento Ad-hoc (APS - System Positioning Ad-hoc), algoritmos de posicionamiento circular e hiperbólico (Vargas, 2015).

Figura 1  
Clasificación de las Técnicas de Localización



Para obtener la distancia estimada entre los nodos ancla y el NOI, existen diferentes técnicas de estimación de distancia tales como tiempo de llegada (ToA – Time of Arrival), diferencia de tiempos de llegada (TDoA – Time Difference of Arrival), ángulo de llegada (AoA – Angle of Arrival) y fuerza de la señal recibida (RSS – Received Signal Strength) (Javed, 2021). En la Tabla I se muestran las limitaciones de los métodos de estimación de distancia.

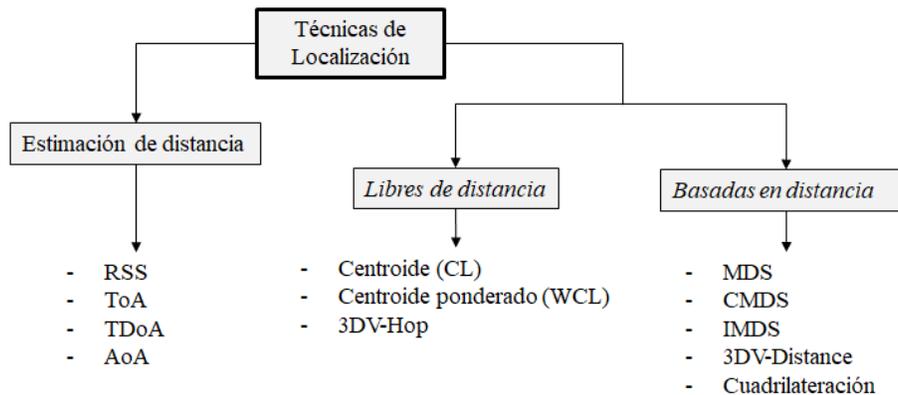
Tabla 1  
Métodos de estimación de distancia

Método	Distancia máxima	Hardware extra	Retos
RSS	Alcance de la comunicación	Ninguno	Variación e interferencias.
ToA	Alcance de la comunicación	Ninguno	Sincronización de nodos.

TDoA	Pocos metros	Transmisor de ultrasonidos	Máxima distancia de trabajo
AoA	Alcance de la comunicación	Conjuntode receptores	Nodos de pequeñas dimensiones.

Las técnicas de localización en 3D al igual que las técnicas en 2D se clasifican en dos grupos: libres de distancia o basadas en proximidad y basadas en distancia. En la Figura 2 se muestra la clasificación de las técnicas de localización en el escenario en 3D. En el primer grupo se encuentran los algoritmos de localización libres de distancia como el algoritmo de centroide, centroide ponderado y 3DV-Hop (Sharma, 2018). En el segundo grupo, se encuentran los algoritmos basados en distancia como MDS (Chaurasiya, 2014), CB-MDS, IMDS (Stojkoska, 2016), 3DV-Distance y cuadrilateración (Xu, 2015).

Figura 2  
Clasificación de las Técnicas de Localización en 3D



En este trabajo se evalúan algoritmos basados en RSS, para estimar la posición del NOI, ya que los otros métodos de estimación de distancia, involucran hardware más costoso como en el caso de AoA. El método ToA tiene la desventaja de que no siempre existe sincronización perfecta entre todos los nodos. Por otro lado, el método TDoA está limitado en cuanto a cobertura, por lo general de pocos metros (Javed, 2021). La desventaja del método RSS, es que a medida que aumenta la distancia de transmisión, tiende a ser impreciso en la estimación de la distancia entre el NOI y sus respectivos nodos ancla.

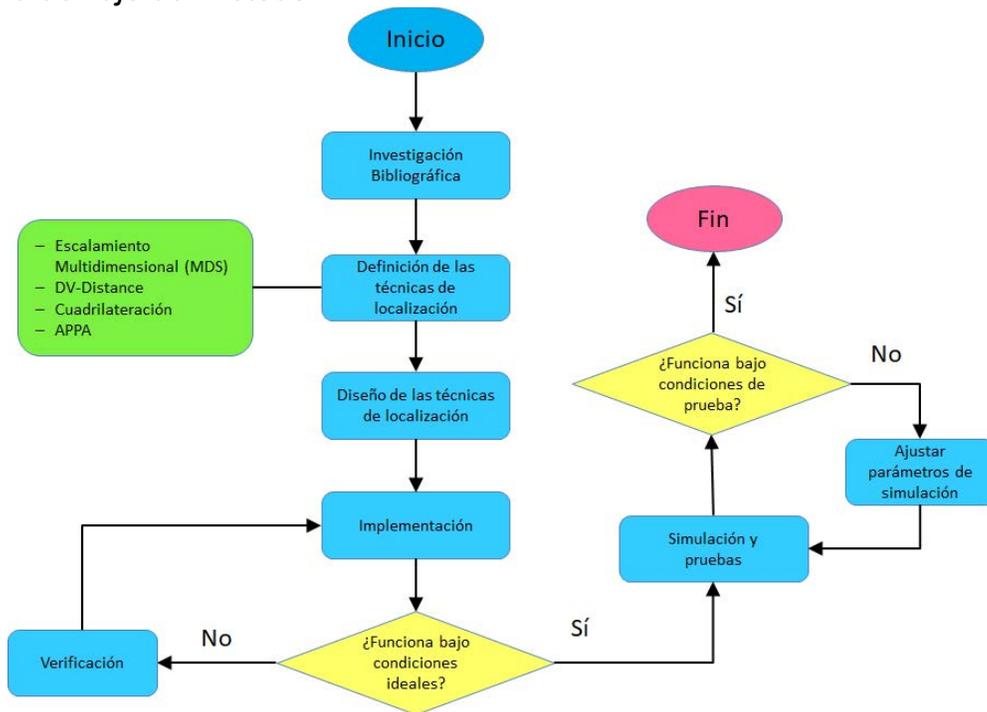
## Metodología

En esta sección se aborda la metodología utilizada, donde se describen los sujetos, se puntualiza el procedimiento y las herramientas utilizadas. En este trabajo se resuelve el problema de la localización de objetos en una WSN en un escenario en 3D. El trabajo de investigación forma parte de un proyecto de investigación del cuerpo académico de Redes y Telecomunicaciones y además el diseño de algoritmos de localización en redes

de sensores inalámbricos es una de sus líneas de investigación. Los principales actores involucrados en el proyecto son los miembros de dicho cuerpo académico.

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron las siguientes herramientas: (a) computadora de escritorio o Laptop, (b) paquete computacional MATLAB 2017b, (c) biblioteca virtual ITSON, (d) internet y (e) base de datos de ITSON como Elsevier, ProQuest, ACM, etc. Para resolver el problema de la localización de objetos, se utilizaron las técnicas de localización basadas en distancia, en donde se estimó la posición del NOI teniendo como parámetros de entrada, la posición de los nodos ancla y su respectiva distancia de separación con respecto al NOI. En las técnicas de localización analizadas, las distancias entre el NOI y sus respectivos nodos ancla se calculan a través del RSS. El procedimiento del trabajo de investigación se describe en la Figura 3.

Figura 3  
Diagrama de flujo del método



A continuación, se describe el proceso utilizado para evaluar el desempeño de los algoritmos de localización analizados en términos de la exactitud en un escenario en 3D. El primer paso del método consiste en llevar a cabo una investigación bibliográfica de las técnicas de localización en WSN en escenarios 3D a través de la consulta de diferentes artículos, páginas de internet, libros y/o revistas. En el paso dos, se definen y seleccionan las técnicas de localización a evaluar, con el fin de resolver el problema de localización de un nodo desconocido en la red. Por su parte, en el tercer paso, se realiza el diseño de las

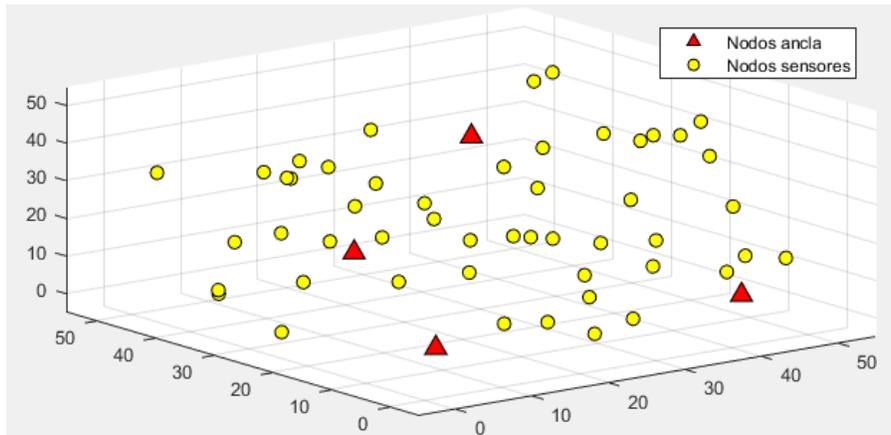
técnicas de localización seleccionadas en el paso dos, a través de un análisis matemático profundo con el fin de obtener las ecuaciones matemáticas que representan la posición desconocida de un nodo en la red. La Implementación, consiste en realizar la simulación de los algoritmos de localización analizados en el paquete computacional MATLAB, con el fin de validar su funcionamiento. Después de la implementación de los algoritmos de localización se realiza la verificación de los algoritmos con el fin de corregir los errores en la programación de dichos algoritmos, es decir, en esta sección se corrigen los errores omitidos en el código original de los algoritmos de localización analizados. Finalmente, en la simulación y pruebas se establecen los parámetros necesarios tales como el número de nodos ancla, el número de nodos con posición desconocida, el tamaño del volumen del área de despliegue de todos los nodos de la red, la posición de los nodos ancla que permanecen fijos y el nivel de ruido, para evaluar el desempeño de los algoritmos de localización en términos de la exactitud.

## Resultados

En esta sección se abordan los principales resultados obtenidos de los algoritmos de localización analizados MDS y cuadrilateración en un escenario de evaluación de desempeño a un salto. Además, se muestran los resultados de los algoritmos de localización de cuadrilateración y APPA (Adaptative plant propagation algorithm) modificado en el escenario multisalto (Walia, 2022). Los resultados de los algoritmos de localización analizados se obtienen en términos de la exactitud, la cual se describe mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE – Root Mean Square Error). El RMSE que se define como donde  $n$  es el número de iteraciones, las coordenadas  $(x, y)$  representa posición real del NOI, y las coordenadas  $(\hat{x}, \hat{y})$  es la posición estimada del NOI en la iteración  $i$ . En este escenario de evaluación de desempeño de los algoritmos de localización analizados, se asume que el área de sensado es de 50m x 50m x 50m, como se muestra en la Figura 4. El desempeño de los algoritmos de localización analizados fue evaluado a través de 100 iteraciones, donde en cada iteración se genera una red de 30 y 100 nodos sensores distribuidos aleatoriamente sobre el área de sensado, cuya posición es desconocida y por lo tanto, representan los nodos a localizar. La posición de los nodos sensores es estimada con la información de la posición de los nodos ancla y el RSS que proporcionan dichos nodos ancla a estos nodos sensores. El valor del RSS se calcula con el modelo log-normal shadowing (Mass, 2020). Los resultados de desempeño en términos del RMSE de los algoritmos analizados fueron obtenidos variando la proporción de ruido y el número de nodos ancla.

Figura 4

Despliegue de nodos en un área 50m x 50m x 50m



En la Tabla 2, se muestran los parámetros de simulación de los algoritmos de localización analizados en el escenario a un salto y multisalto. Los parámetros del modelo de propagación de la señal propuestos son una potencia de transmisión, el exponente de pérdidas de trayectoria y una distancia de referencia.

Tabla 2

Parámetros de simulación en el escenario a un salto y multisalto

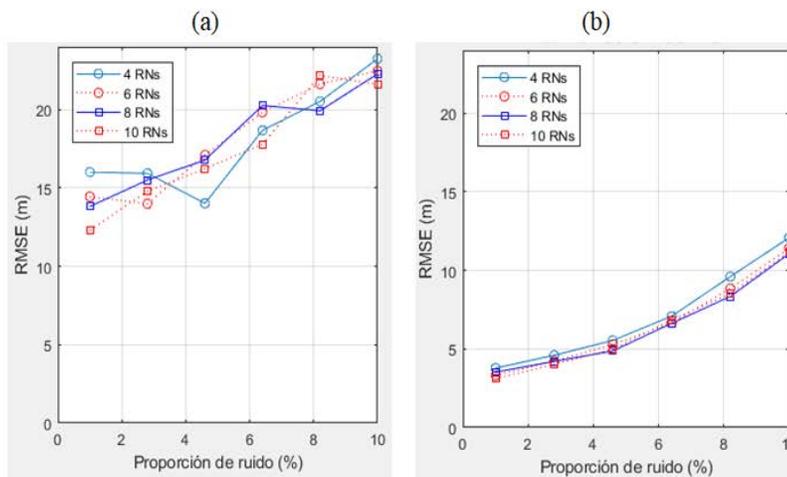
Parámetro de desempeño	Valor
Área de sensado	50m x 50m x 50m
Número de nodos ancla	4, 6, 8 y 10 nodos
Número de nodos en la red	30 y 100 nodos
Proporción de ruido	0.010, 0.028, 0.046, 0.064, 0.082, 0.100
Radio de cobertura	30 m
Iteraciones	100

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestra el desempeño de los algoritmos de localización MDS con trilateración, MDS con método heurístico y cuadrilateración en términos de la exactitud en el escenario a un salto (single-hop). La figura 5 muestra el desempeño del RMSE del algoritmo MDS por trilateración para una red que consta de 30 y 100 nodos sensores respectivamente, variando la proporción de ruido. Al analizar el comportamiento de la métrica de desempeño RMSE se puede observar que a mayor número de nodos sensores en la red, esta métrica tendrá mejor desempeño en términos de precisión y exactitud de la posición estimada del NOI, por lo que el nivel ruido afectará en menor medida al

desempeño del algoritmo de localización en términos del RMSE. Además, se observa que al aumentar el número de nodos ancla, el algoritmo de localización analizado mejora su desempeño en términos del RMSE asumiendo que la densidad de nodos en la red es constante. Sin embargo, cuando aumenta la densidad de nodos en la red, un aumento del número de nodos ancla no mejora significativamente el desempeño de los algoritmos de localización en términos del RMSE.

Figura 5

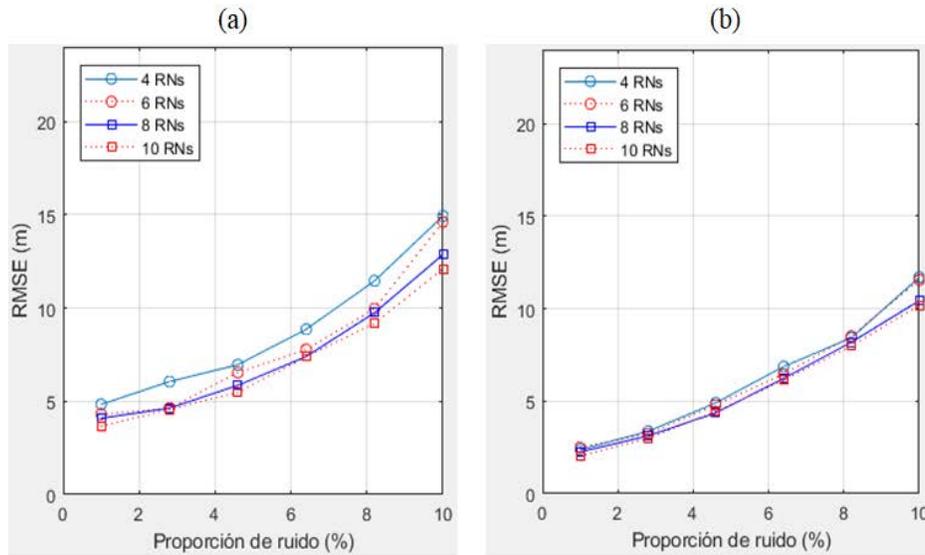
*RMSE vs proporción de ruido para (a) 30 nodos y (b) 100 nodos para el algoritmo MDS con trilateración en el escenario a un salto (single-hop)*



La figura 6 muestra el desempeño del RMSE del algoritmo MDS con método heurístico para una red que consta de 30 y 100 nodos sensores respectivamente, variando la proporción de ruido. Al analizar el comportamiento de la métrica de desempeño RMSE se puede observar que para una densidad de nodos en la red de valor pequeño (30 nodos) o muy grande (100 nodos), el algoritmo de localización MDS con método heurístico presenta un buen desempeño en términos del RMSE. También, se observa que la curva que describe el RMSE del algoritmo de localización MDS con método heurístico tiene un comportamiento casi lineal con respecto a la variación de la proporción de ruido, lo cual se aprecia mejor en la figura 6(b), para cada uno de los valores del número de nodos ancla presentados en cada figura. Además, se puede observar que para una alta densidad de nodos (ver Figura 6(b)), el número de nodos ancla no repercute en gran medida en el desempeño del algoritmo de localización en términos del RMSE.

Figura 6

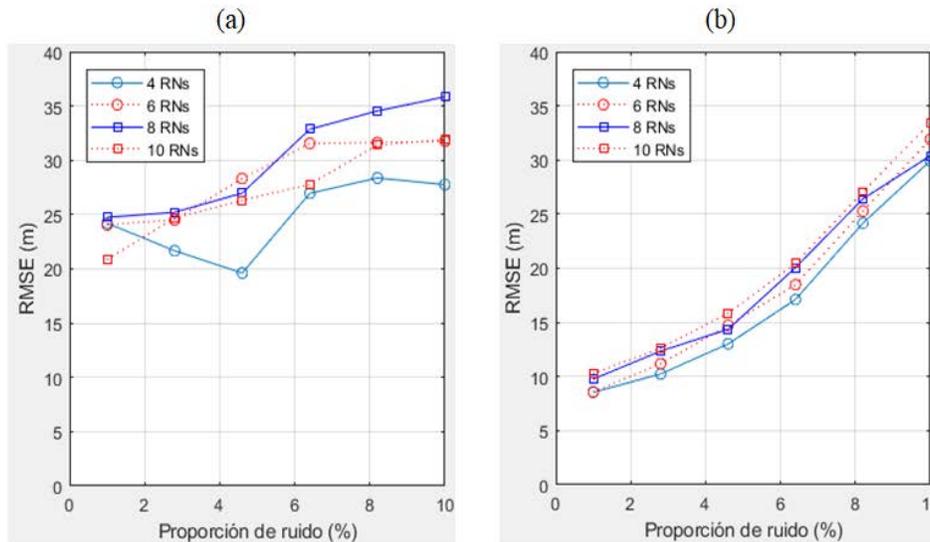
*RMSE vs proporción de ruido para (a) 30 nodos y (b) 100 nodos para el algoritmo MDS con método heurístico en el escenario a un salto (single-hop)*



Por su parte en la figura 7 se muestra el desempeño del RMSE del algoritmo de cuadrilateración para una red que consta de 30 y 100 nodos sensores respectivamente, variando la proporción a ruido. Al analizar el comportamiento de la métrica de desempeño RMSE se puede observar que este método presenta mejor desempeño en términos del RMSE para una alta densidad de nodos (ver Figura 7(b)). Además, se observa que las curvas del RMSE presentan mucha variación con respecto a la proporción de ruido, por lo que el desempeño del RMSE del algoritmo de cuadrilateración es más susceptible al ruido del canal (ver Figura 7(a)). Esto se debe a que el algoritmo de cuadrilateración escoge los 4 nodos ancla mediante el grado de coplanaridad (DCP), tal que con este parámetro estos 4 nodos ancla seleccionados formen un tetraedro regular; por lo tanto, un aumento del número de nodos ancla no mejora el desempeño de este algoritmo en términos del RMSE, ya que este algoritmo sólo toma los cuatro nodos ancla con el mejor DCP, de tal forma que la geometría formada por dichos ancla sea lo más parecida posible a un tetraedro regular.

Figura 7

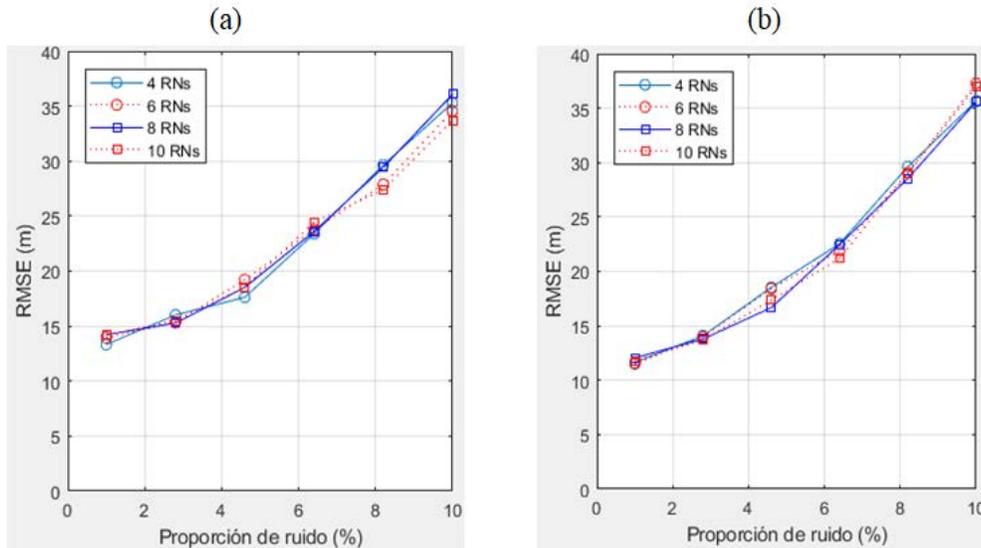
RMSE vs proporción de ruido para (a) 30 y (b) 100 nodos para el algoritmo de cuadrilateración en el escenario a un salto (single-hop)



En las Figuras 8 y 9 se muestra el desempeño de los algoritmos de localización de cuadrilateración y APPA en términos de la exactitud en el escenario multisalto (multi-hop). Se asume que la conectividad entre un nodo de la red, es decir, el NOI se encuentra a múltiples saltos o múltiples enlaces de sus respectivos nodos ancla. La cantidad de saltos y la distancia de cada salto en la red se determinan mediante DV-Distance. Por lo tanto, los algoritmos de localización analizados utilizan DV-Distance para obtener la distancia de separación en saltos desde el NOI y sus respectivos nodos ancla. La figura 8 muestra el desempeño del RMSE del algoritmo de cuadrilateración con DV-Distance para una red que consta de 30 y 100 nodos sensores respectivamente, variando la proporción a ruido. Al analizar el comportamiento de la métrica de desempeño RMSE se tiene que este método es altamente susceptible al ruido para las diferentes densidades de nodos. Además, se puede visualizar que el aumentar el número de nodos ancla, no se tiene un mejor desempeño del algoritmo analizado en términos del RMSE, ya que este algoritmo desde un principio, selecciona 4 nodos ancla mediante el grado de coplanaridad, asegurando una geometría de dichos nodos ancla lo más parecida posible a un tetraedro regular. Por lo tanto, un mayor número de nodos ancla no presenta una mejora significativamente del RMSE, cuyo comportamiento también se observa en el algoritmo de cuadrilateración en el escenario a un salto. Además, el desempeño de este algoritmo en términos del RMSE mejora cuando aumenta la densidad de nodos de la red, pero de manera poco significativa.

Figura 8

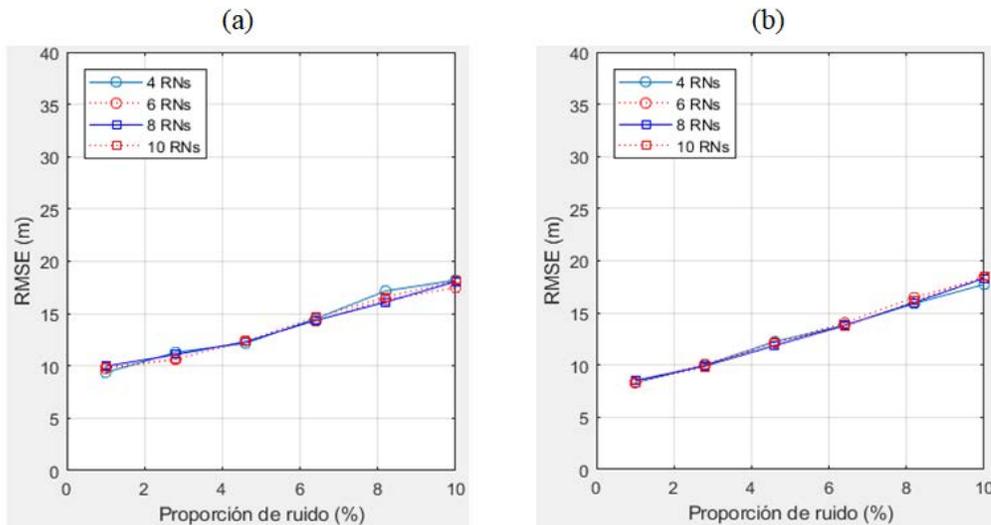
*RMSE vs proporción de ruido para (a) 30 y (b) 100 nodos para el algoritmo de cuadrilación con DV-Distance en el escenario multisalto (multi-hop)*



La figura 9 muestra el desempeño del RMSE del algoritmo DV-Distance con el algoritmo de optimización APPA modificado para una red que consta de 30 y 100 nodos sensores respectivamente, variando la proporción a ruido. Al analizar el comportamiento de la métrica de desempeño RMSE se puede observar que dicha métrica presenta una curva lineal con respecto a la variación del ruido de proporción. También se observa que el aumentar el número de nodos ancla no contribuye a un mejor desempeño del RMSE de forma significativa, ya que en todos los resultados mostrados se consideran cuatro nodos ancla con el mejor DCP, de tal forma que la geometría formada por dichos nodos ancla sea lo más parecida posible a un tetraedro regular. Además, se obtiene que al aumentar la densidad de nodos en la red, el desempeño en términos del RMSE del algoritmo APPA modificado mejora de una manera poco significativa.

Figura 9

*RMSE vs proporción de ruido para (a) 30 nodos y (b) 100 nodos para el algoritmo de DV-Distance optimizado con APPA modificado en el escenario multisalto*



Al analizar los resultados obtenidos para los algoritmos de localización evaluados en el escenario a un salto, se observa que el algoritmo MDS con enfoque heurístico presenta los mejores resultados de desempeño en términos de exactitud definida por el RMSE dado en la ecuación (1); ya que el RMSE de este algoritmo presenta menor valor en comparación con los algoritmos de cuadrilateración y MDS con trilateración. Otra ventaja del algoritmo MDS con enfoque heurístico es que presenta un desempeño en términos del RMSE con mayor robustez, considerando valores altos de la proporción de ruido. Además, este algoritmo presenta un aumento en la complejidad computacional poco significativa con respecto al algoritmo MDS con trilateración. En la Tabla 3 se muestran el tiempo de ejecución de los algoritmos analizados.

Tabla 3

*Complejidad del algoritmo de localización en términos del tiempo de ejecución*

Algoritmos de localización	Tiempo de ejecución (s)
cuadrilateración	0.3686
MDS con trilateración	3.3251
MDS con enfoque heurístico	0.0558
DV-Distance optimizado con APPA	0.0185

Cabe mencionar que para una red con alta densidad de nodos, el desempeño del algoritmo MDS con trilateración en términos del RMSE es muy similar al desempeño del algoritmo MDS con enfoque heurístico, obteniendo ambos algoritmos un buen desempeño tomando como referencia el índice RMSE. Sin embargo, la complejidad computacional del algoritmo MDS con trilateración aumenta en gran medida, lo cual implica que el algoritmo sea más lento en la estimación de la posición del NOI, por lo que representa una desventaja muy importante, lo cual se observa en la Tabla 3.

Por otra parte, el algoritmo de cuadrilateración es el que presenta el peor desempeño en términos del RMSE, ya que el valor del RMSE aumenta significativamente al aumentar la proporción de ruido, por lo que el RMSE de este algoritmo presenta un comportamiento poco lineal o con muy poca robustez.

Al analizar los resultados obtenidos para los algoritmos de localización evaluados en el escenario multisalto, se observa que tanto el algoritmo de cuadrilateración y el DV-Distance optimizado con APPA modificado, no presentan una mejora significativa de su desempeño en términos del RMSE al agregar más de 4 nodos ancla, ya que se considera que los 4 nodos ancla seleccionados forman un tetraedro regular y presentan el mejor DCP, por lo que utilizar el método con DCP para más combinaciones con 4 nodos ancla, no influye en gran medida en el desempeño de los algoritmos.

Se puede observar que algoritmo DV-Distance optimizado con APPA modificado presenta el mejor desempeño en términos RMSE en todas las simulaciones realizadas. Además, este algoritmo mejora su desempeño para una alta densidad de nodos de la red y su desempeño es menos susceptible a las variaciones del ruido del canal en comparación con el algoritmo de cuadrilateración.

## **Conclusiones**

Con base a los resultados obtenidos, se observa que la precisión de la localización de un nodo en la red, mejora al aumentar el número de nodos ancla y la densidad de nodos en la red. Además, este parámetro es altamente dependiente de la geometría formada por los nodos ancla, es decir, en un escenario donde los nodos ancla son distribuidos aleatoriamente implica mayor error en la localización, comparado con un escenario donde los nodos ancla son distribuidos en forma de retícula o bien con posiciones fijas, como el tetraedro regular formado por cuatro nodos ancla. En el escenario multisalto, al aumentar la densidad de nodos, aumenta el número de rutas o caminos desde el nodo de interés con respecto a los nodos ancla, por lo que hay mayor probabilidad de que las rutas formadas sean más directas o lineales y además, con esto aumenta la conectividad en la red. Como contribución de este trabajo, se realizó un análisis comparativo de los algoritmos de loca-

lización analizados en términos del RMSE en los escenarios a un salto y multisalto. Los resultados obtenidos del desempeño de los algoritmos de localización analizados en términos del RMSE muestran que en el escenario a un salto presentan mejor desempeño. Además, se hizo una modificación del algoritmo de optimización APPA y se obtuvieron mejores resultados en términos del RMSE respecto al algoritmo de cuadrilateración en los escenarios de localización propuestos. Como trabajo futuro se debe evaluar los algoritmos basados en distancia analizados en este trabajo con ToA en los escenarios a un salto y multisalto en 3D con nodos sensores móviles, con el fin de determinar las métricas de desempeño.

## Referencias

- Alhumud H. and Zohdy M., (2018). "Managing Energy Consumption of Wireless Sensors Networks in Multiple Greenhouses," *Wireless Engineering and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 11-19.
- Chaurasiya V. K., Jain N. and Nandi G. C., (2014). "A novel distance estimation approach for 3D localization in wireless sensor network using multi dimensional scaling," *Information Fusion*, 2014, vol. 15, pp. 5-18.
- Eck D., Robin Hess R., Borrmann D. and Schilling K., (2015). "A Evaluation Test Bed for Outdoor Localization Algorithms Using a High-Precision Positioning System," *IFAC-papersOnLine*, vol. 48, no. 10, pp. 34-40.
- Javed I., Tang X., Shaukat K., Sarwar M. U., Alam T. M., Hameed I. A. and Saleem M. A., (2021). "V2X-Based Mobile Localization in 3D Wireless Sensor Network," *Security and Communication Networks*, vol. 2021, pp. 13.
- Landaluce H., et al., (2020). "A review of IoT sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 20, no. 9, pp. 2495.
- Mass-Sanchez J., Ruiz-Ibarra E., Cortez-Gonzalez J., Espinoza-Ruiz A. and Castro L. A., (2017). "Weighted Hyperbolic DV-Hop Positioning Node Localization Algorithm in WSNs," *Wireless Personal Communications*, vol. 96, pp. 5011-5033.
- Mass-Sanchez J., Vargas-Rosales C., Ruiz-Ibarra E., Garcia-Berumen A. and Espinoza-Ruiz A., (2020). "Localization based on probabilistic multilateration approach for mobile wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 54994-55011.
- Sharma G. and Kumar A., (2018). "Improved range-free localization for three-dimensional wireless sensor networks using genetic algorithm," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 72, pp. 808-827.
- Stojkoska B. R., (2016). "A taxonomy of localization techniques based on multidimensional scaling," *39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp. 649-654.
- Vargas-Rosales C., Mass-Sanchez J., Ruiz-Ibarra E., Torres-Roman D. and Espinoza-Ruiz A., (2015). "Performance Evaluation of Localization Algorithms for WSNs," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, pp. 14.

- Verde P., Díez-González J., Ferrero-Guillén R., Martínez-Gutiérrez A. and Perez H., (2021). "Memetic chains for improving the local wireless sensor networks localization in urban scenarios," *Sensors*, vol. 21, no. 7, pp. 2458.
- Walia G. S., Singh P., Singh M., Abouhawwash M., Park H. J., Kang B.-G., Mahajan S. and Pandit A. K., (2022). "Three Dimensional Optimum Node Localization in Dynamic Wireless Sensor Networks," *Computers, Materials & Continua*, vol. 70, no. 1, pp. 305-321.
- Xu Y., Zhuang Y. and Gu J.-J., (2015). "An Improved 3D Localization Algorithm for the Wireless Sensor Network," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, pp. 9.
- Yuan Y., Huo L., Wang Z. and Hogrefe D., (2018). "Secure APIT localization scheme against sybil attacks in distributed wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27629-27636.
- Zheng K., Li H., Lei L., Xiang W., Qiao J. and Shen X., (2016). "Energy-Efficient Localization and Tracking of Mobile Devices in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 3, pp. 2714-2726.

# Capítulo 6

## Técnica de prototipado rápido de Filtros FIR en FPGAs

Eduardo Romero Aguirre  
Darcy Daniela Flores Nieblas  
José Antonio Urias Mazoraqui

### Resumen

En este trabajo se propone una técnica que permitió el diseño, síntesis y prototipado rápido de filtros digitales de Respuesta al Impulso Finita (FIR), empleando la gran versatilidad de las herramientas de Diseño Electrónico Asistido por computadora (EDA-tools) y la flexibilidad de reprogramación de las tecnologías contemporáneas de implementación de sistemas digitales tales como: los Arreglos de Matrices Programables en Campo (FPGA). Ya que los filtros digitales de tipo FIR son sistemas de uso intensivo en el campo de procesamiento digital de señales, siempre existe la necesidad de nuevas arquitecturas de hardware o modificación de las existentes en aras de su implantación eficiente para lograr el rendimiento requerido. En el caso de estudio presentados, la técnica en cuestión redujo la cantidad de etapas necesarias —con respecto diseño convencional— al modelar y prototipar simultáneamente a nivel prueba de concepto, el filtro FIR propuesto como caso de estudio. También se obtuvo una ganancia temporal efectiva al verificar su funcionamiento debido a que las pruebas se trasladaron directamente al plano físico usando la tarjeta de desarrollo FPGA modelo AC701 de Xilinx Inc. Por ende, la técnica cumplió con su cometido de disminuir las etapas y reducir el tiempo estimado de obtener un prototipo funcional de filtro FIR. Además, que, en la verificación, las condiciones de operación y ruido externo fueron más apegadas a la realidad, cosa que no es posible lograr con las simulaciones a nivel computacional.

Palabras clave: Filtro digital, FPGA, EDA-tools

### Introducción

Actualmente el mundo está inmerso dentro de una gran vorágine de dispositivos basados en procesos digitales. En la gran mayoría de ellos se deben ejecutar procesos propios del Procesamiento Digital de Señales (PDS) tales como: convolución, correlación, filtrado, etc. Una de las áreas donde más impacta la velocidad de ejecución de tales procesos es la de telecomunicaciones debido a su dinámica de innovación constante (Proakis &

Salehi, 2013; Salehi *et al.*, 2012; Viáfara *et al.*, 2020). Por tal motivo, cada vez son requeridas técnicas eficientes en cuanto a consumo de hardware y que disminuyan los ciclos de desarrollo (Romero, 2019; Anthony, 2017).

La problemática surge debido a que el método de diseño convencional de sistemas PDS permite obtener hardware funcional a bajo costo para cualquier tipo de aplicación, pero a costa de restringirlo a arquitecturas fijas no configurables, con velocidades de operación limitadas y con el inconveniente de adolecer de tiempos largos de desarrollo (Athanas *et al.*, 2012). Otra de las soluciones para superar estos inconvenientes es recurrir al diseño basado en Circuitos Integrados para Aplicación Específica (ASIC), donde los tiempos de diseño/fabricación son muy extensos y, por tanto, costosos a la hora de solucionar un problema particular. Todo como consecuencia de que el método tiene un enfoque final de producción masiva. Independientemente del método, los requerimientos se especifican tomando en cuenta parámetros como velocidad de procesamiento, precisión, límite en el consumo de potencia y flexibilidad (Ruiz, 2013).

Por lo que, el objetivo que se persigue en este trabajo consiste en proponer una técnica que encamine al desarrollo de sistemas de filtrado de tipo FIR, a un punto intermedio entre los enfoques anteriores, haciendo uso de los Lenguajes de Descripción de Hardware (HDL), las EDA-tools con Inteligencia Artificial (AI) incorporada (Evelyn, 2012; XSG, 2018) y los dispositivos de tecnología programable tales como los FPGA's (Deschamps *et al.*, 2014). Con esto, se logrará conjuntar las ventajas de los métodos anteriormente mencionados, promoviendo el desarrollo de sistemas PSD y de cómputo científico en un tiempo menor. En particular, en todos aquellos que requieran de algún tipo de filtrado de señales.

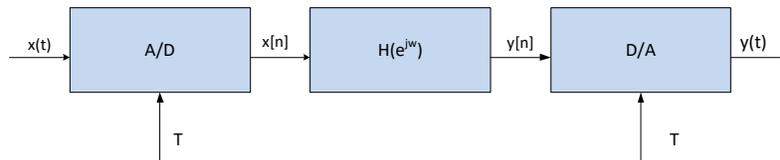
## **Fundamentación teórica**

Un filtro es un sistema en el que, acorde a ciertos parámetros conocidos, se ejecuta un proceso de discriminación en una señal de entrada, convirtiéndola en una señal diferente a su salida donde se ha modificado ya sea su amplitud, frecuencia o fase. También de forma global los filtros pueden clasificarse en analógicos y digitales. Los analógicos procesan a su entrada señales continuas, en cambio uno digital opera sobre secuencias discretas. En sentido estricto es un operador matemático que toma una secuencia de números (la señal de entrada) y la modifica produciendo otra secuencia de números (la señal de salida) con el objetivo de resaltar o atenuar ciertas características. Los filtros digitales presentan flexibilidad de adaptación, ya que, al ser de naturaleza netamente algorítmica, su diseño puede ser reprogramado con relativa facilidad, cosa que no sucede con su contraparte analógica donde los elementos reactivos restringen esta cualidad (Khan, 2011; Manolakis & Ingle, 2012).

El desarrollo de dichos filtros digitales se basa netamente en el computo digital para representar una señal, que proviene de un sistema en tiempo continuo, mediante un muestreo periódico seguido por un proceso de conversión del dominio analógico a la digital, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Diagrama a bloques del desarrollo del filtro digital



Fuente: Proakis & Manolakis, 2014

Si se considera que la entrada es limitada en banda y la frecuencia de muestreo lo suficientemente para evitar el efecto alias, el sistema se comporta como un sistema en tiempo continuo lineal e invariante en el tiempo cuya respuesta en frecuencia es

$$H_{\text{eff}}(j\Omega) = \begin{cases} H(e^{j\Omega T}), & |\Omega| < \frac{\pi}{T}, \\ 0, & |\Omega| > \frac{\pi}{T}, \end{cases} \quad (1)$$

Ahora, convirtiendo las especificaciones del filtro en tiempo continuo a tiempo discreto, se tiene entonces (Proakis & Manolakis, 2014).

$$H(\Omega) = H^{\text{eff}}\left(j\frac{\Omega}{T}\right), \quad |\Omega| < \frac{\pi}{T} \quad (2)$$

A pesar de lo anterior, la mayoría de los diseños del filtro regularmente inicia a partir de especificaciones expresadas en términos de la variable en tiempo discreto, porque no siempre al filtrar una señal, ésta se ha obtenido a partir de una señal en tiempo continuo (Oppenheim *et al.*, 2013).

Dentro del contexto del filtrado digital existen dos tipos:

- Filtros digitales de respuesta al impulso finita (filtros FIR)
- Filtros digitales de respuesta al impulso infinita (filtros IIR)

Los filtros FIR son sistemas estables que tienen una respuesta al impulso finita de valores no nulos, además de que su salida solo depende de valores de entrada previos y en ese instante. Un filtro FIR de longitud (número de coeficientes) y orden del filtro, con entrada y salida es totalmente descrito con la siguiente ecuación de diferencia:

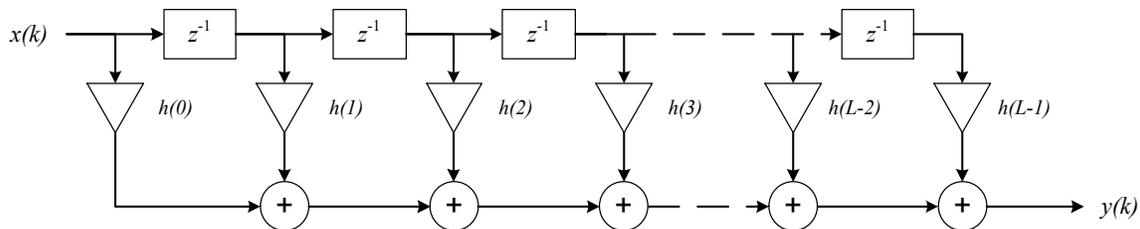
$$\begin{aligned}
 y[n] &= b_0x[n] + b_1x[n - 1] + \dots + b_{L-1}x[L - n + 1] \\
 &= \sum_{k=0}^{L-1} b_kx_k[n - k].
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Donde  $b_k$  es el conjunto de coeficientes del filtro y que para este caso es la respuesta al impulso  $h[k]$ . Obteniendo la transformada  $z$  de (3), se tiene que:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{Z(z)} = \sum_{k=0}^{L-1} h_kz^{-k}.
 \tag{4}$$

$H(z)$  es la función de transferencia del filtro, es su respuesta al impulso y  $z^{-k}$  es un retardo de la señal de valor  $k$ . A la representación esquemática de ésta última expresión (figura 2) se le conoce como forma directa del filtro FIR (DeFatta *et al.*, 1988; K Hari Kishore, 2021).

Figura 2  
Estructura tipo I (forma directa) de un filtro FIR



Fuente: DeFatta *et al.*, 1988; K Hari Kishore, 2021

Cabe señalar que existen una diversidad de variantes de esta estructura, usando arreglo de filtros en serie, cascada, etc. En lo que respecta a los métodos analíticos para diseñar este tipo de filtros son (Oppenheim & Schaffer, 2013; Manolakis & Ingle, 2012; Proakis & Manolakis, 2014):

- Por series de Fourier (con ventanas)
- Muestreo en frecuencia
- Rizado constante

En el caso del primer método las ventanas más habituales son la rectangular, de Barlett, de Hanning, de Hamming, de Blackman, de Kaiser, de Lanczos, de Tukey. Las principales ventajas de los filtros FIR es que son siempre realizables y que pueden diseñarse para tener una fase lineal (Urias, 2018 Torres-Rodríguez *et al.*, 2013). El método analítico de diseño de filtros FIR's con ventanas se puede resumir en los siguientes pasos:

- Especificar la respuesta en frecuencia  $H_D(e^{j\omega})$
- Obtener la respuesta al impulso  $h_D(n)$  del filtro deseado
- Seleccionar una función de peso (ventana) que cumpla con las especificaciones del filtro

Obtener los valores de los coeficientes del filtro  $h_D(n)$  mediante:

$$h(n) = h_D(n)\omega(n). \quad (5)$$

Para la síntesis de  $h(n)$  en algún dispositivo, se recurre al método clásico de diseño de arquitecturas digitales (Urias, 2018), haciendo uso intensivo de herramientas computacionales de diseño tanto de software como de hardware. Es aquí donde los FPGA's contribuyen con su velocidad de procesamiento para entregar respuestas casi instantáneas y dentro de los límites exigidos, además del agregado de ser reconfigurables (Skyarov *et al.*, 2014; Athanas *et al.*, 2012). Esta cualidad es particularmente atractiva en la implantación de filtros digitales, ya que permite cambios *on-the fly* en la arquitectura de hardware sin necesidad de modificaciones mayores. La implementación de los filtros digitales a nivel físico está condicionada por varios factores, estos pueden consultarse en (Romero, 2019), mismos que se aplicaron en este trabajo.

Finalmente, algunas de las principales desventajas de los filtros FIR son (Thyagarajan, 2019; DeFatta, 1998):

- Sensibilidad al efecto de la convolución de los espectros
- Para algunas aplicaciones suele ser muy complicado obtener analíticamente  $h_D(n)$  para una determinada respuesta en frecuencia  $H_D(e^{j\omega})$

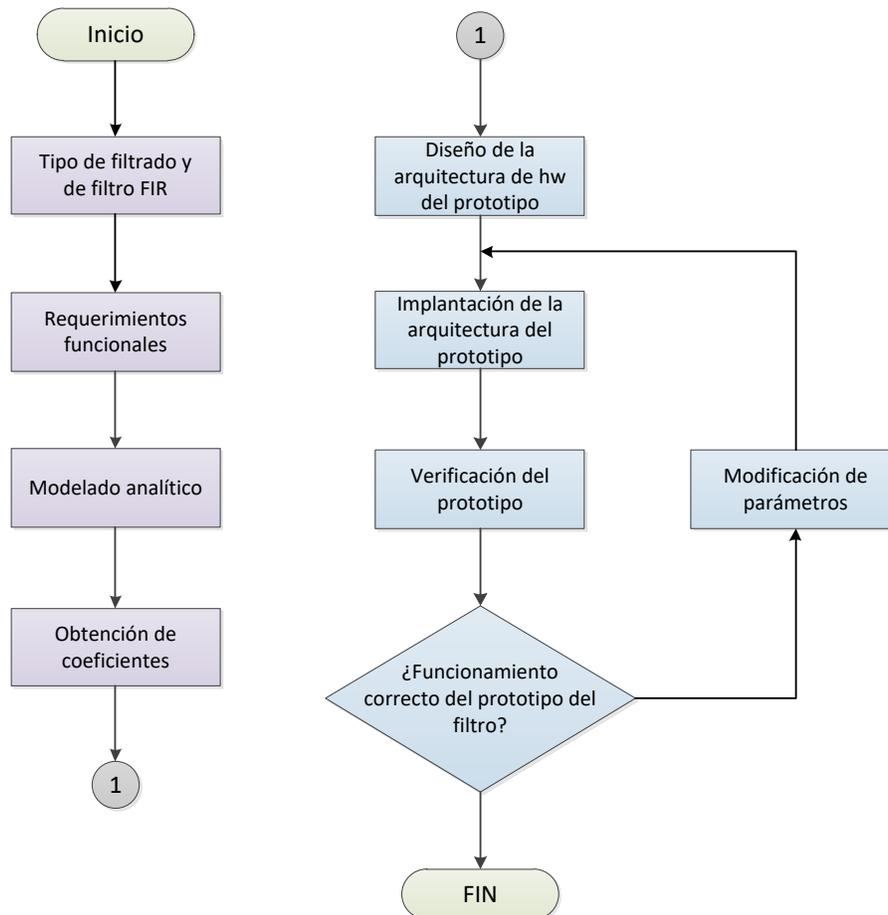
## Metodología

El diagrama de la figura 3, muestra la metodología a seguir para el prototipado rápido de filtros FIR en FPGA. Es importante señalar que cada una de las etapas definidas lleva implícita una naturaleza de diseño cíclica.

Se define como sujeto de estudio a un filtro FIR pasabanda, luego se identifican sus bandas de paso y supresión de frecuencias. Luego se establece el tipo de filtro que corresponda al comportamiento esperado de la señal al filtrar y su rizado en las bandas de paso y de supresión. Con esta información se procede a especificar los requerimientos funcionales del filtro como lo son: la frecuencia de muestreo a usar, los valores límites de frecuencia para cada una de las bandas de paso y de supresión; así como la magnitud del rizado en dichas bandas. En este punto ya es posible plantear el modelado analítico del filtro para obtener de forma teórica sus coeficientes, con fines de comparación. Para-

lealmente, con la ayuda de herramientas computacionales (Matlab y Simulink) también se obtienen los coeficientes del filtro en cuestión y se corrobora su validez (Zamboni, 2013; Zheng & Zhen, 2020, Grant, 2018).

Figura 3  
Diagrama de flujo de la metodología a seguir



Las siguientes etapas son las que marcan diferencia con relación a los métodos convencionales, ya que a partir de aquí se plantea directamente una prueba de concepto a nivel prototipo del filtro a desarrollar, iniciando con una primera versión a nivel bloques de la arquitectura de hardware del filtro, misma que se capturará en la herramienta de diseño para construir un modelo a nivel simulación y a bloques del sistema a nivel físico en una tarjeta de desarrollo FPGA específica. En este punto, en que se lleva a cabo la implantación a nivel hardware del filtro FIR en la tarjeta, es donde se establecerán cada uno de los factores mencionados en Romero, 2019, para que impacten directamente en el rendimiento final del filtro y en la métrica de la eficiencia de la implementación. Así, con el apoyo de todo lo anterior es factible estructurar un entorno de verificación a nivel co-si-

mulación software&hardware, con la ventaja de monitorear físicamente el comportamiento operativo del filtro y simultáneamente compararlo directamente con la simulación. En caso de presentarse alguna discrepancia en el funcionamiento, será necesario reajustar algunos de los parámetros de implementación y ejecutar de nuevo algunas de las etapas de su prototipado.

Para llevar a buen término este trabajo es necesario contar con los materiales y herramientas que a continuación se enlistan:

**Hardware:**

- Computadora personal con sistema operativo Windows 7 o superior.
- Tarjeta de desarrollo FPGA AC701 de Xilinx.

**Software:**

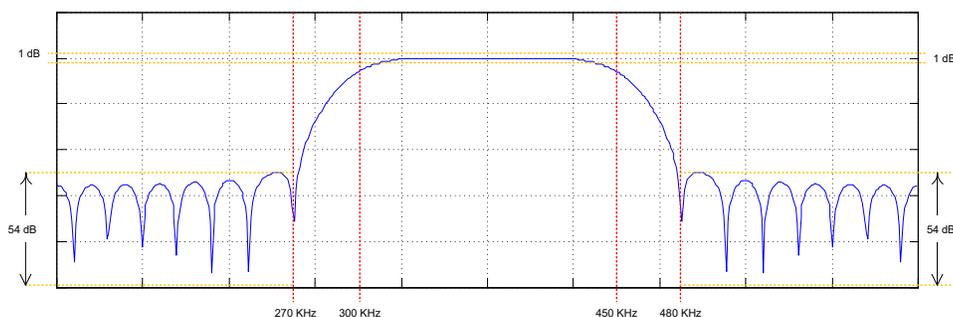
- VMware Workstation v9 o superior.
- Notepad++ v8.2 o superior
- Vivado v2016.1
- XSG v2017.1
- Matlab v2014
- Simulink v2014

## Resultados

En aras de ejemplificar la técnica, se plantea el siguiente caso de estudio. Se requiere desarrollar un filtro FIR cuya respuesta en frecuencia es similar a la mostrada en la figura 4.

Figura 4

*Respuesta en frecuencia del filtro FIR pasabanda sujeto de estudio*

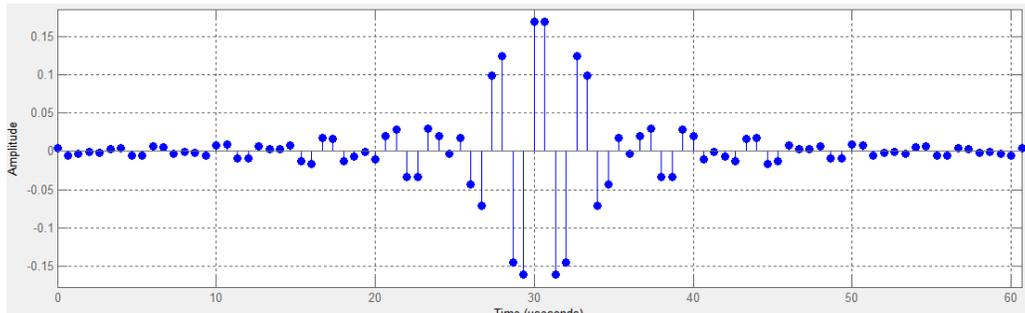


Se identifica que es un filtro pasabanda con magnitudes de rizo iguales en ambas bandas de supresión. Para mantener la forma de la salida si se requiere ajustar a un orden mayor se elegirá de tipo Butterworth. También se pueden extraer los valores límites de 300 KHz hasta 450 KHz de la banda de paso y frecuencias de corte situadas en 270 KHz y 480 KHz. Se asume una frecuencia de muestreo de 1.5 MHz. El modelado analítico se realizó

con un *script* elaborado con Matlab v2014 con el que se graficó la respuesta al impulso del filtro, misma que se muestra en la figura 5.

Figura 5

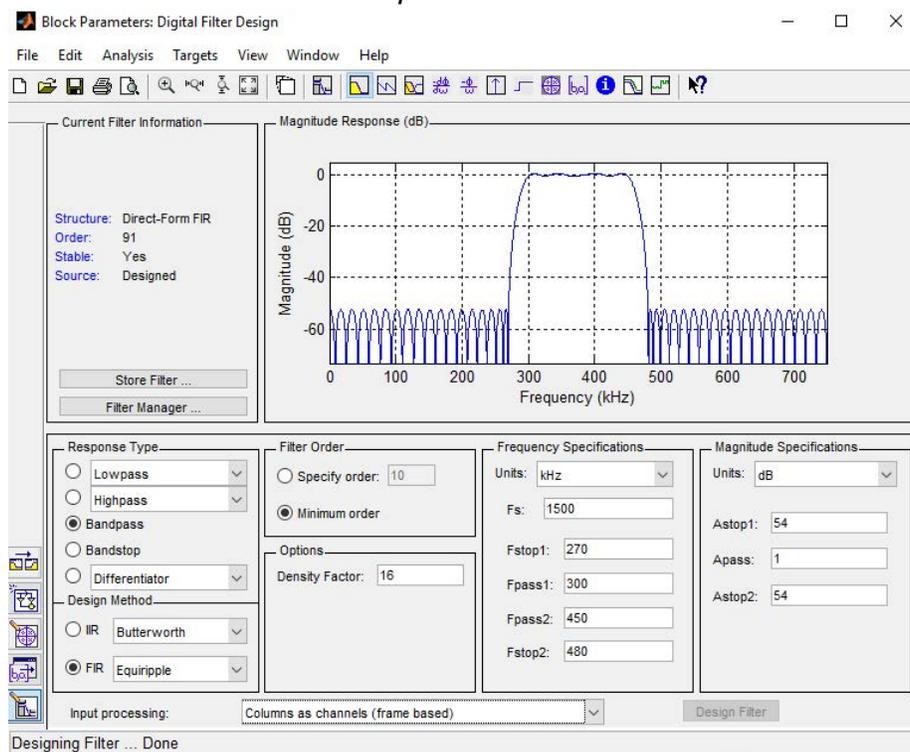
*Respuesta temporal al impulso del filtro FIR pasabanda*



Mediante el *toolbox* de Matlab FDATool (Filter Design&Analysis Tool), se obtuvieron de forma automatizada los coeficientes del filtro. A través de una interfaz de usuario, semejante a la que se muestra en la figura 6, se introducen los parámetros del filtro a diseñar. Hecho esto, FDATool generó los coeficientes y el orden del filtro y se exportaron al espacio de trabajo de Matlab en forma de un vector.

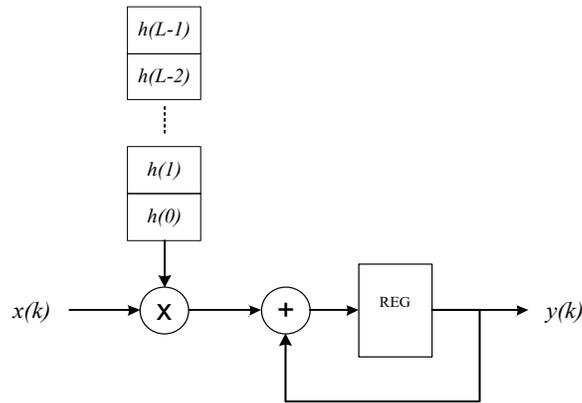
Figura 6

*Interfaz de usuario de FDATool con los parámetros del filtro FIR*



Obtenidos los coeficientes, se procede a la elección del tipo de diseño en el que se implementarían los filtros. La forma paralela queda descartada debido al orden del filtro, por lo que se optó por una de tipo serial multiciclo. Así, el *datapath* de la arquitectura digital disminuye drásticamente a costa de una unidad de control más compleja y mayor número de ciclos de procesamiento. En la figura 7 puede visualizarse el bosquejo de la arquitectura de tipo de flujo serial del filtro FIR.

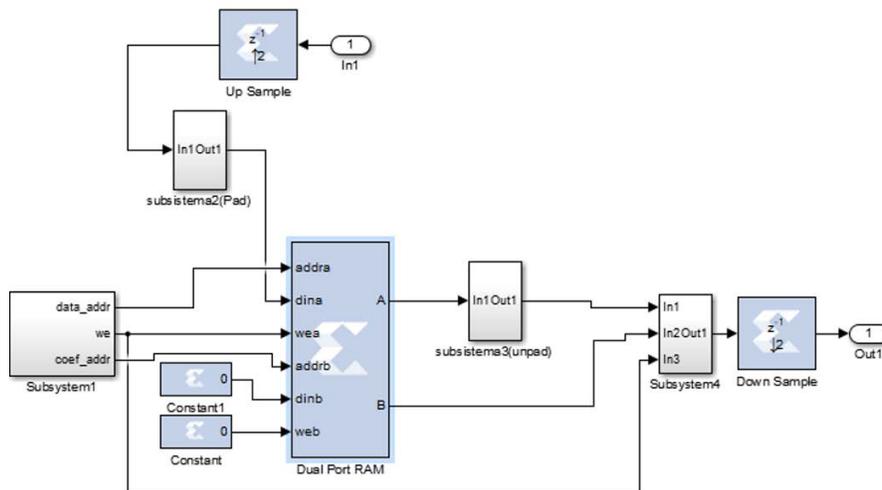
Figura 7  
Bosquejo de arquitectura serial para el filtro FIR



Fuente: Urias, 2018

Para la etapa de implantación física del filtro, se echó mano de la herramienta de diseño Xilinx System Generator (XSG) (Xilinx, 2018), donde se construyó a nivel bloque la arquitectura del filtro (figura 8) y sintetizarla en la tarjeta de desarrollo AC701 de Xilinx, la cual tiene en su haber un FPGA de la familia Artix-7.

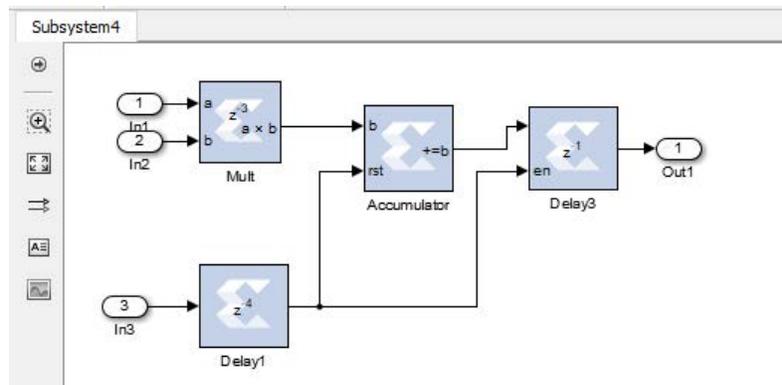
Figura 8  
Diagrama a bloques de la arquitectura digital del filtro FIR



De forma general, la arquitectura del filtro consta de 4 subsistemas, una memoria RAM de doble puerto (DP-RAM), un bloque de sobremuestreo y uno de decimación. El subsistema 1 es la unidad de control del filtro basada en un contador binario. A partir de este último se generan las direcciones necesarias para extraer los datos de la DP-RAM. El subsistema 2 realiza un incremento en la anchura de palabra con su respectiva reinterpretación en punto fijo. Tarea similar, pero de forma inversa se ejecuta en el subsistema 3, donde se limita el rango de bits en la salida de la DP-RAM y se alinean en forma correcta.

El subsistema 4 (figura 9) corresponde al bloque MAC (multiplica y acumula) que es el motor de procesamiento del filtro.

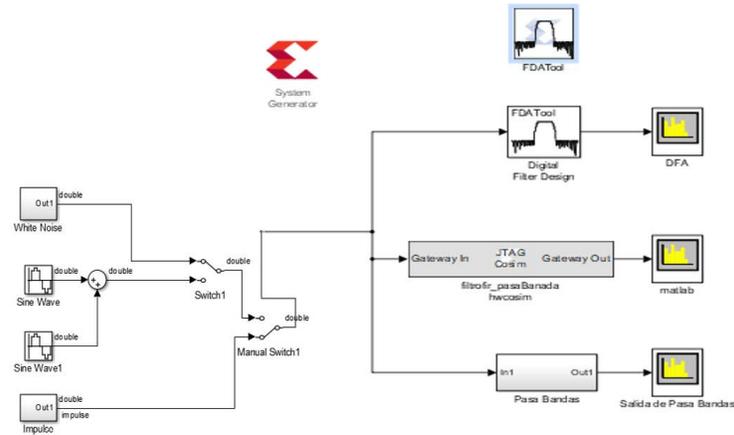
Figura 9  
Arquitectura digital en XSG del subsistema 4



Los coeficientes del filtro y los resultados de los cálculos intermedios se almacenan en la DP-RAM. Los coeficientes fueron declarados en un *script* de Matlab e importados directamente del workspace de Matlab hacia XSG. Al final, todos los componentes y subsistemas que conforman la arquitectura del filtro se encapsularon en dos bloques independientes. Uno para verificación a nivel simulación y otro sintetizado para su descarga en el FPGA de la tarjeta AC701 para efectos de verificación a nivel físico.

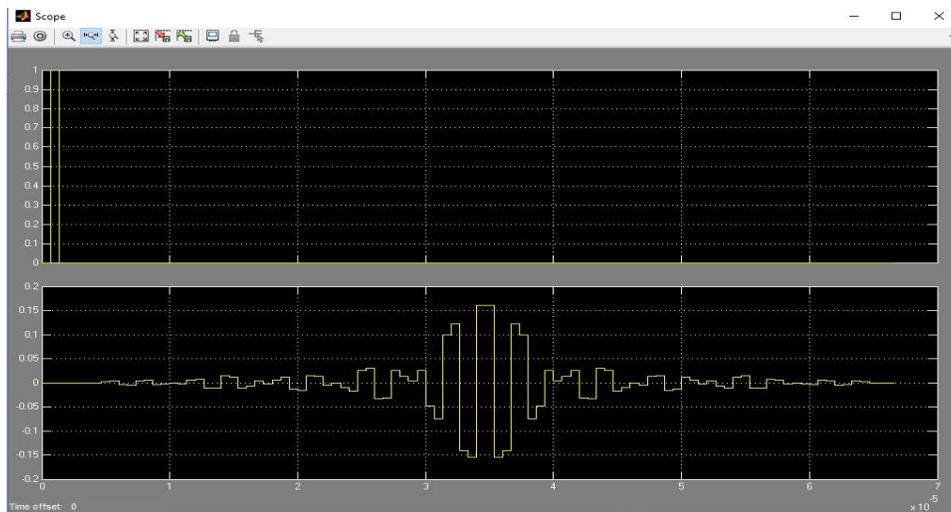
La etapa final del método corresponde a la verificación funcional del filtro. Para tal fin, fue necesario construir un entorno de heterogéneo de co-simulación tipo hardware-in-the loop con la ayuda de Matlab, Simulink, XSG, enlazados por puerto USB a la tarjeta de desarrollo AC701. Para esto se dispuso de los bloques generados en la etapa anterior y se interconectó en sus entradas bloques generadores de señales tipo (impulso unitario, ruido blanco gaussiano y senoidales) (Grant, 2018). A la salida de los bloques se conectaron analizadores de espectros para visualizar las señales en el dominio de la frecuencia, tal como lo sugiere el diagrama de la figura 10. La generación de señales de entrada y monitoreo de las salidas de cada uno de los bloques queda controlada desde el workspace de Matlab.

Figura 10  
Entorno de verificación funcional para el filtro FIR



Para obtener la respuesta al impulso del filtro, se generó un bloque adicional basado en la suma de dos señales de tipo escalón. El resultado temporal a la salida del filtro son cada uno de los coeficientes que conforman el kernel del filtro pasabanda. La figura 11 confirma esta respuesta, la cual es indicativo de que el filtro funcionó adecuadamente.

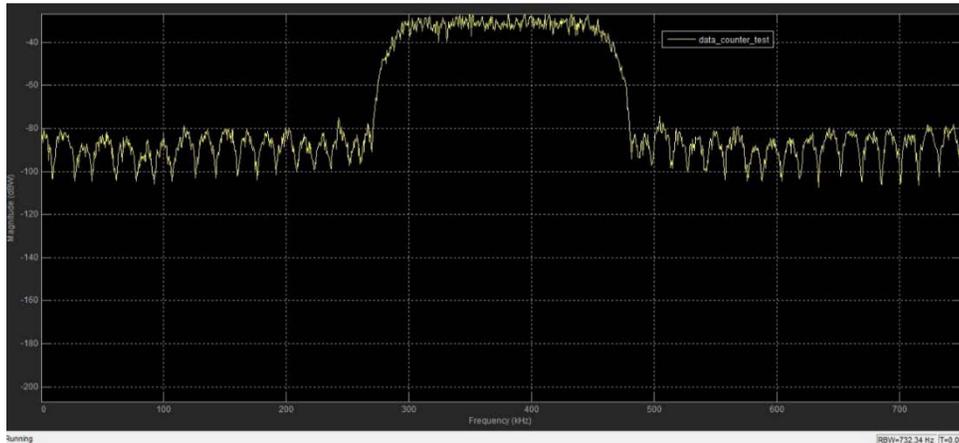
Figura 11  
Impulso de entrada y respuesta del filtro FIR pasabanda al mismo



Para obtener la respuesta en frecuencia del filtro, se suministró a la entrada un estímulo de ruido blanco gaussiano y se monitoreo la salida en el dominio de la frecuencia por medio de un analizador de espectros. El resultado de este experimento se visualiza en la figura 12, donde se puede apreciar las frecuencias de las bandas de paso y de rechazo corresponden a los requerimientos solicitados.

Figura 12

*Respuesta en frecuencia obtenida del filtro FIR pasabanda*



Cabe resaltar que las señales de salida presentadas en las figuras anteriores provienen del filtro FIR pasabanda ya implementado y ejecutándose desde la tarjeta de desarrollo AC701. Debido a que no fue necesario escribir código HDL, ni hacer simulaciones pre-síntesis.

Cabe señalar que, debido a la diversidad de herramientas, lenguajes HDL, métodos de verificación, condiciones de implantación y diferencias entre las tarjetas de desarrollo, no fue posible comparar en forma directa la técnica propuesta. La única métrica común es contrastarla contra el tiempo total dedicado para obtener un prototipo funcional usando el método convencional. Así, el tiempo consumido para obtener el prototipo del filtro FIR caso de estudio se acortó de 8 semanas a 5.5.

## Conclusiones

El proceso de diseño de filtros FIR está enormemente condicionado cuando se implementan en solo software a cuando se implementan en hardware. Los métodos y enfoques varían de tecnología a tecnología por lo que es imperativo apearse a aquellas que permite disminuir los ciclos de desarrollo. La técnica de prototipado rápido presentada en este trabajo redujo efectivamente el tiempo hasta en un 32% para obtener un prototipo funcional sin necesidad de editar código HDL hasta este punto. Para lograr esto, las herramientas de MATLAB y Simulink en conjunto con las herramientas EDA-tools proporcionadas por Xilinx tuvieron un rol importante tanto para el desarrollo de la arquitectura digital como para su posterior verificación. Queda pendiente analizar la técnica desde la perspectiva de la eficiencia de consumo de recursos del FPGA. A pesar de esto, quedó demostrada la gran versatilidad de los FPGA y sus ventajas en la implementación física de bloques de procesamiento de señales, con el valor agregado del que el sistema final puede escalarse fácilmente a un ASIC.

## Referencias

- Anthony, D. (2017). Designing with Xilinx FPGAs. Createspace Independent Publishing Platform.
- Athanas, P., Pnevmatikatos, D., & Sklavos, N. (Eds.). (2012). Embedded systems design with FPGAs (2012a ed.). Springer.
- DeFatta, D. J., Hodgkiss, W. S., & Lucas, J. J. (1988). Digital Signal Processing: A System Design Approach. John Wiley & Sons.
- Deschamps, J.-P., Sutter, G. D., & Canto, E. (2014). Guide to FPGA implementation of arithmetic functions (2012a ed.). Springer.
- Evelyn, C. S. (Ed.). (2012). Xilinx Ise. Fec Publishing.
- Grant, J. (2018). Managin Signals in Simulink. Createspace Independent Publishing Platform.
- K Hari Kishore, A. M. (2021). FPGA implementation of proficient 16-tap FIR filter design using decision tree algorithm. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 12(5), 170–180.
- Khan, S. A. (2011). Digital design of signal processing systems: A practical approach. Wiley-Blackwell.
- Manolakis, D. G., & Ingle, V. K. (2012). Applied digital signal processing: Theory and practice. Cambridge University Press.
- Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2013). Discrete-time signal processing: Pearson new international edition (3a ed.). Pearson Education.
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. K. (2014). Digital Signal Processing: Pearson New International Edition (4a ed.). Pearson Education.
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2013). Fundamentals of communication systems (2a ed.). Pearson.
- Romero, A. E. (2019). Metodología para Mapeo/Traslación de un Algoritmo a una Arquitectura de Hardware Digital. Registrado ante INDAUTOR. Hermosillo, Sonora.
- Ruiz, G. (Ed.). (2013). Design and Architectures for Digital Signal Processing. InTech.
- Salehi, M., Proakis, J., & Bauch, G. (2012). Modern Communication Systems Using MATLAB, International Edition. CENGAGE Learning Custom Publishing.
- Sklyarov, V., Skliarova, I., Barkalov, A., & Titarenko, L. (2014). Synthesis and optimization of FPGA-based systems (2014a ed.). Springer International Publishing.
- Thyagarajan, K. S. (2019). FIR Digital Filters. En Introduction to Digital Signal Processing Using MATLAB with Application to Digital Communications (pp. 245–312). Springer International Publishing.
- Torres-Rodríguez, I., Padrón-García, Y., Hernández-Vicens, Y., & Taboada-Crispí, A. (2013). Mejoras a la Precisión de los Coeficientes para Filtrado FIR de Señales Biomédicas Usando PSoC. En V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba (pp. 1202–1205). Springer Berlin Heidelberg.
- Urias, M. J. A. (2018). Desarrollo de Filtros FIR en FPGA. Tesis de Ingeniería. ITSON. Ciudad Obregón Sonora.
- XSG (2018). Software de Desarrollo FPGA. www.xilinx.com. USA.
- Zamboni, L. (2013). Getting started with Simulink. Packt Publishing.
- Zheng, Y., & Zheng, P. (2020). Case teaching of parallel FIR digital filter design combined matlab with FPGAs. 2020 International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE).

# Capítulo 7

## Identificación básica de riesgos ergonómicos en puestos de trabajo con PVD

Rosa María Curiel Morales  
Claudia Álvarez Bernal  
Luis Fernando Olachea Parra  
Francisco Javier Soto Valenzuela

### Resumen

La realización de actividades donde los trabajadores tienen exigencias físicas y posturales pueden suponer un riesgo ergonómico, por tanto, es necesario gestionar su prevención a fin de garantizar su seguridad y salud. En México no existe una ley o código que haga referencia específica a los posibles riesgos en el uso de pantallas de visualización de datos, sin embargo, existe un marco jurídico relacionado con la ergonomía laboral que debe ser observado en todas las empresas. Con el inicio de la Pandemia por COVID-19 en marzo de 2020, la exposición de los usuarios de los centros de trabajo que utilizan pantallas de visualización de datos (PVD) se incrementó por el aumento de tareas remotas y/o virtuales. El objetivo de esta investigación es realizar una identificación básica de riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo que utilizan PVD en ITSON Guaymas como parte de los proyectos de investigación desarrollados en la academia de estudio del trabajo y alineado a algunas de las necesidades de identificación en materia de seguridad y salud recomendadas por organismos acreditadores. Para esta investigación se utilizó la lista de verificación para evaluar estaciones de Trabajo Informáticas ETOOL de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), además de algunas consideraciones tomadas de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos que incluyan pantallas de visualización” del INSST(2021), como resultado se obtuvo un análisis y valoración donde se pueden observar áreas que deben ser mejoradas y en algunos casos prioritarias, se recomienda implementar las medidas preventivas que ayuden a mejorar el diseño del puesto o centros de trabajo para asegurar el bienestar de los usuarios, así como la realización de una evaluación ergonómica específica en las áreas donde se ha identificado mayor factor de riesgo.

Palabras Clave: Centro de trabajo, Riesgo ergonómico, PVD

## Introducción

De acuerdo con el Instituto de Salud Pública de Chile (2016), la actividad asociada al trabajo en oficina y el uso de computadores, está representada en todos los rubros productivos, formando parte importante de la fuerza de trabajo de las empresas, instituciones y organizaciones, tanto públicas como privadas. Los cambios organizacionales a nivel laboral en las últimas décadas han permitido la masificación de este tipo de tareas, lo que a la vez se ha asociado a importantes cambios tecnológicos en el ámbito de la informática y las telecomunicaciones, facilitando y agilizando las tareas especialmente las de tipo administrativa. Tradicionalmente este tipo de actividades han sido encasilladas como de bajo riesgo para la salud de los trabajadores lo que ha influenciado en la estimación de los riesgos. En el artículo publicado por García (2017) se realiza una revisión del marco jurídico en México relacionado con la ergonomía laboral, si bien no existe una ley o código específico que haga referencia a los posibles riesgos en el uso de pantallas de visualización de datos, dicha materia existe y se desprende de las normas contenidas en el artículo 123 Constitucional, en la Ley Federal del Trabajo, en la Ley de Metrología y Normalización, los Convenios que México ha celebrado con la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud, en las Normas Oficiales Mexicanas emanadas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, que deben ser observadas en todas las empresas, así como en el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo en cuyo artículo 3, apartado XVI, para los efectos del presente Reglamento se entenderá por Factores de Riesgo Ergonómico: Aquellos que pueden conllevar sobre esfuerzo físico, movimientos repetitivos o posturas forzadas en el trabajo desarrollado, con la consecuente fatiga, errores, accidentes y enfermedades de trabajo, derivado del diseño de las instalaciones, maquinaria, equipo, herramientas o puestos de trabajo (SEGOB, 2014). Con la llegada de la pandemia por COVID-19 en marzo de 2020, muchas instituciones educativas, así como empresas se vieron obligadas a realizar funciones que utilizan en su mayoría de la jornada PVD, fuera de las instalaciones del centro de trabajo, esto ocasionó que muchos colaboradores tuvieran que adaptar sus hogares en oficinas provisionales, usar equipos o mobiliario personal y en ocasiones trasladar algunos de estos equipos de trabajo de la oficina para realizar home office. En la institución bajo estudio a inicios del 2022 se comunica de manera institucional que la actividad presencial se retoma y se solicita a los colaboradores reactivar sus funciones en los centros de trabajo a los cuales están adscritos de manera habitual después de casi dos años de haber estado realizando funciones desde el hogar, con la flexibilidad de poder realizar algunas funciones de manera intermitente desde home office y de esta manera ir adaptando nuevamente algunas de las tareas que debido a la pandemia muchos colaboradores tuvieron que desempeñar, es deseable que prevalezca en las instituciones de educación una cultura de vigilancia y prevención, una de ellas es la identificación de condiciones inseguras, que en ocasiones por imprudencia, temeridad y el descuido de los trabajadores al desa-

rollar sus labores productivas, pueden dar origen a un riesgo de trabajo, lo que obliga entonces a buscar y adoptar las medidas adecuadas para evitarlos en lo posible (García, 2017). El uso prolongado de pantallas de visualización de datos, ordenadores, terminales de pantalla, entre otros, puede llegar a exponer a sus usuarios a posturas que pueden llegar a perjudicar la salud provocando alguna enfermedad, lesión o accidente de trabajo, según cifras del IMSS el total de accidentes de trabajo en 2020 fue de 278, 134, siendo los de mayor frecuencia según la región anatómica: mano y muñeca (76,802), tobillo y pie (41,281), miembros inferiores (34,734), miembros superiores (31,668) y cabeza y cuello (34,795). El objetivo de esta investigación es realizar una identificación básica de riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo que utilizan PVD en ITSON Guaymas como parte de los proyectos de investigación desarrollados en la academia de estudio del trabajo y alineado a algunas de las necesidades de identificación en materia de seguridad y salud recomendadas por organismos acreditadores.

## **Fundamentación Teórica**

La Ergonomía busca en forma simultánea el bienestar laboral de las personas y la productividad de las empresas, permitiendo realizar mejoras y a su vez diseñar sistemas de trabajo saludables y sustentables. Para lograr su objetivo, aborda los factores de riesgos y los frecuentes desequilibrios que se presentan entre las exigencias de los procesos productivos y las capacidades tanto físicas como mentales de las personas. En el trabajo, la Ergonomía se aplica en el diseño de los ambientes, equipos, tareas y organización del trabajo, siendo parte fundamental de la Salud y Seguridad Ocupacional, teniendo como objetivo promover la salud, la eficiencia y el bienestar de los trabajadores mediante el diseño seguro de los lugares de trabajo, reduciendo los riesgos de lesiones o enfermedades, y a la vez mejorar la calidad de vida laboral (ISPCH, 2014). Un lugar con un buen diseño ergonómico puede lograr una mayor producción, con menos esfuerzo y menores riesgos para la salud de trabajadores, estos beneficios pueden ser logrados entre otras alternativas, a través de: a) Las adaptaciones o el rediseño del lugar o puesto de trabajo. b) Evaluando la capacidad de los trabajadores y sus habilidades. c) Equilibrando las demandas de la tarea (físicas y mentales), con las capacidades del trabajador. d) Mejorando la organización del trabajo (ISPCH,2016). La Asociación Internacional de Ergonomía (IAE) define en el año 2000 a la Ergonomía como: Disciplina científica que se ocupa de la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y los otros componentes de un sistema. Es la profesión que aplica principios teóricos, datos y métodos para optimizar el bienestar de las personas y el rendimiento del sistema (Cañas, 2011). Los ergónomos, contribuyen a la planificación, evaluación de las tareas, trabajos, productos, organizaciones, entornos y sistemas para hacerlos compatibles con las necesidades, capacidades y limitaciones de las personas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define que: “Un Entorno Laboral Saludable es aquel en el que los trabajadores y directivos colaboran en

un proceso de mejora continua para proteger y promover la salud, seguridad y bienestar de los trabajadores y la sustentabilidad del ambiente de trabajo” (OMS, 2010). En la figura 1. Se presenta el modelo propuesto por la OMS para el proceso de mejora continua en la implementación de un Entorno Laboral Saludable.

Figura 1

*Creación de entornos de trabajo saludables: un modelo para la acción: para empleadores, trabajadores, autoridades normativas y profesionales*



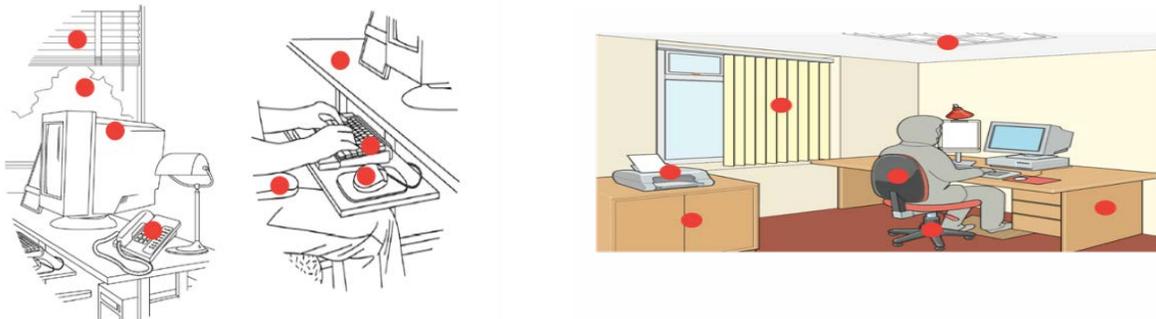
Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010)

La propia OMS ha definido cuatro áreas (o avenidas de influencia) que se relacionan al contenido que debe tener un programa de Entorno Laboral Saludable, como son el entorno físico del trabajo, el entorno psicosocial del trabajo, los recursos personales de salud en el espacio de trabajo y la participación de la empresa en la comunidad. La estación de trabajo en oficinas para la realización de tareas administrativas o técnicas es un lugar físico determinado, generalmente compuesto por una superficie de trabajo o escritorio, silla, mobiliario para guardar y mantener documentos, equipos de telecomunicaciones e informáticos, como el propio computador junto a la pantalla para visualizar datos, los accesorios que le acompañan (teclado, ratón, etc.), teléfono y accesorios relacionados a manejo de documentos y comunicaciones. El computador es la combinación del hardware de la computadora, pantalla, teclado y ratón, y los dispositivos de entrada. La estación de trabajo también se ve influenciada por la presencia de factores ambientales, como la iluminación, ventilación, ruido, seguridad, entre otros. Los medios físicos de una estación de trabajo de oficina están determinados por el tamaño y características del espacio físico disponible, pudiendo ser espacios individuales o compartidos según el ordenamiento de la propia organización u empresa, donde se puede o no interaccionar con público interno o externo a la organización. Los aspectos organizacionales están determinados por las características de la tarea y las relaciones con los distintos niveles jerárquicos de la organización, sus pares y otros clientes internos como externos. Debido a los cambios en los modelos organizacionales, han surgido nuevas formas de trabajo, lo cual hace que la tra-

dicional estación de trabajo ya descrita, sufra algunas variaciones, como en los llamados “centro de atención telefónica”, o bien en el “teletrabajo” que se desarrolla en ambientes no controlados ni reglamentados (la casa) y el “coworking” en el cual se comparte un espacio común, cumpliendo diferentes objetivos y de distintas dependencias contractuales. En la figura 2 se muestra un ejemplo de estación de trabajo donde se utilizan PVD y algunos de sus componentes.

Figura 2

*Estación de trabajo y algunos de sus componentes*



Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCH, 2016)

## Metodología

La población objeto de estudio en esta investigación es cualquier persona que se desempeña en una oficina y/o utiliza un computador, al igual que sus jefaturas y supervisores. En principio es importante determinar que trabajadores se consideran “usuarios” de pantallas de visualización de datos. Pueden considerarse “trabajadores usuarios de equipos con pantallas de visualización”: todos aquellos que superen las 4 horas diarias o 20 horas semanales de trabajo efectivo con dichos equipos y quedan excluidos todos aquellos usuarios cuyo uso sea inferior a 2 horas diarias o 10 horas semanales. El procedimiento para la identificación básica de riesgos ergonómicos se basa en el informe de evaluación ergonómica: herramientas de prevención de riesgos laborales para pyme del Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, (ISTAS, 2015). Introducción: Incluir datos de la empresa y centro de trabajo, objetivo del informe y los motivos de presentación, visitas de identificación inicial de riesgos ergonómicos o si se tiene un antecedente. Describir los aspectos fundamentales del puesto de trabajo y tareas evaluadas: Indicar sector productivo, turnos y horarios, factores más importantes del puesto/tarea que se va a evaluar, características individuales y/o grupales de las personas que desarrollan el puesto, edad, sexo, entre otros. El número de expuestos y si existe algún caso especialmente sensible (embarazadas, lactancia, jóvenes, con limitaciones físicas o mentales, entre otros). Indicar los factores de riesgo ergonómicos presentes en cada tarea del puesto de trabajo y cuáles son objeto de la evaluación. Indicar el tiempo real de desarrollo de cada tarea y

operación (o acción técnica) en el puesto de trabajo. Instrumental empleado. Por ejemplo, grabadora de audio, vídeo, cámara fotográfica. Metodología empleada. Describir la entidad o autores de esta, factores de riesgo que evalúa y resultados, herramientas y técnicas cuantitativas y cualitativas empleadas para la toma de datos como listas de chequeo, entrevistas, instrumentos de medida, observación, cuestionarios, y tipo de registro audiovisual. Análisis y valoración del riesgo: Fecha y hora del día en la que se realiza la toma de datos. Resumen de la valoración del riesgo ergonómico cuantitativa y cualitativa por tarea y teniendo en cuenta el conjunto de factores de riesgo en el puesto de trabajo y la probabilidad global de sufrir Trastorno Musculo esquelético (TME). Indicar el resultado obtenido según el nivel de riesgo ergonómico. Recomendaciones y medidas preventivas. Describir las medidas preventivas recomendadas ya sea de rediseño, técnica, organizativa o formativa. Consideraciones finales y periodicidad. Recordar a la empresa el poner a disposición de los delegados de prevención el contenido del informe y la correspondiente planificación de actividades preventivas. Recomendar realizar pruebas de las medidas preventivas propuestas, involucrar a participantes, indicar la periodicidad y supuestos en los que será necesario volver a evaluar el puesto de trabajo. Reflejar las conclusiones a nivel técnico. Idealmente es necesario que las conclusiones se comparen con un estándar o un parámetro de referencia, por ejemplo, en relación con el sector de actividad de la empresa.

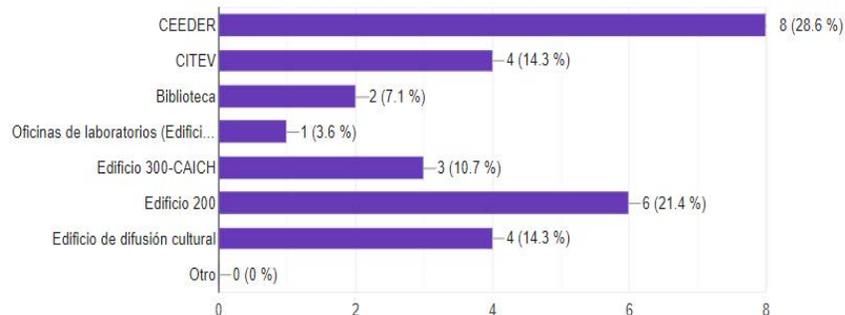
## **Resultados y discusión**

*Introducción:* Datos de la empresa y centro de trabajo: Instituto Tecnológico de Sonora, campus Guaymas, las evaluaciones se realizaron durante el periodo de 02 al 19 de mayo de 2022, el objetivo del informe de evaluación es realizar una identificación inicial de riesgos ergonómicos en los centros de trabajo de oficinas y proponer medidas que permitan prevenir posibles repercusiones en la salud como principal motivo, además de proponer un plan de actuación donde se involucren a todos los trabajadores para realizar buenas prácticas y en caso de ser necesario brindar una capacitación específica.

*Describir los aspectos fundamentales del puesto de trabajo y tareas evaluadas:* Se evaluaron 28 usuarios entre jóvenes y adultos cuyo turno y horario es por jornada de 8 horas o 40 horas por semana (diurno) la cual representa el 85.7% de los usuarios y un 14.3% con jornada de 4 horas diarias o 22 horas por semana, con pausas de 30 minutos por jornada para comer y 10 minutos propuestos para realizar estiramientos o gimnasia laboral dirigido a todo el personal que labora en la institución. Los centros de trabajo evaluados fueron: CEEDER, Edificio 300-CAICH, Edificio 200, CITEV, Biblioteca, Edificio de Laboratorios, Edificio de Difusión Cultural, la población de usuarios son en su mayoría jóvenes y adultos. En la figura 3 se presentan los usuarios en trabajo presencial durante las visitas realizadas en sus centros de trabajo con PVD.

Figura 3

*Usuarios identificados en trabajo presencial*



La exposición al uso de Tecnologías de la información (TICS), siendo un 67.9% como mayoría una exposición de entre 5 y 7 horas por día, 28.6% utilizan entre 2 y 4 horas por día y una persona tiene una exposición de 8 horas o más al día.

*Instrumental empleado:* Para la recolección de los datos se solicitó autorización a la dirección de la Unidad Guaymas para solicitar aprobación en el uso de los datos para realizar una investigación, respetando la confidencialidad de los datos proporcionados por los usuarios para ser utilizados solo con fines académicos y/o de investigación. Se utilizó una cámara fotográfica para la captura de fotografías en cada centro de trabajo y se aplicó una lista de verificación en el centro de trabajo de forma presencial.

*Metodología empleada:* Para realizar la identificación básica de riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo que utilizan PVD en ITSON Guaymas, se utilizó la lista de verificación para evaluar estaciones de Trabajo Informáticas ETOOL de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2022) y como referencia para la identificación de riesgos, las guías técnicas para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos que incluyan pantallas de visualización y notas técnicas de prevención como la NTP 1150 (INSST, 2020). Se realizó una comparación entre la Lista de Comprobación Ergonómica (LCE), se trata de una herramienta especialmente adecuada para llevar a cabo una evaluación de nivel básico (o identificación inicial de riesgos) previa a la evaluación de nivel avanzado para ser aplicada en pequeñas y medianas empresas, pero no es exclusiva para centros de trabajo con PVD, la Lista de Comprobación surgió de la colaboración entre la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) y la Asociación Internacional de Ergonomía (AIE). En el año 1991, el Technology Transfer Committee de la AIE, designó a un grupo de expertos para crear un borrador del documento y elaborar la mayor parte del material. Los expertos identificaron diferentes áreas principales en las que la contribución de la Ergonomía a las condiciones de trabajo fue considerada como algo muy importante para las pequeñas empresas. También se comparó con la lista de verificación publicada en la guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos

relativos a la utilización de equipos con pantallas de visualización del INSST (2021). En aquellas situaciones que conlleven un esfuerzo físico adicional importante es necesario realizar una evaluación específica de riesgos ergonómicos. Dentro de los métodos específicos siempre se debe optar por aquellos que han sido elaborados por organismos técnicos de prevención como el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, Universidades, entre otras (UGT-Madrid, 2020).

*Análisis y valoración del riesgo:* La recolección de datos se realizó en un periodo de 10 días, entre el 02 y 19 de mayo de 2022, los puestos de los usuarios son: personal administrativo y/o de servicios, personal auxiliar de laboratorios, maestros auxiliares, profesores por asignatura y personal académico (PTC). Para el análisis del puesto y llenado de la lista de verificación se llevó en promedio 30 minutos por cada usuario. A continuación, se presenta un resumen cualitativo y cuantitativo de acuerdo con los resultados de la valoración y con base en el conjunto de factores de riesgo en el puesto de trabajo. En lo que respecta a miembros superiores (cabeza, cuello y tronco), se identificó que el 70%, es decir 19 de los usuarios mantienen una postura neutral, no torcidos para ver el monitor/trabajo/documentos, el tronco se mantiene vertical o ligeramente reclinado. Con respecto a la espalda, solo el 60% apoya totalmente en el soporte lumbar de la silla. En la valoración de miembro superior distal, el 75% mantuvo los hombros relajados (no elevados) y brazos relajados (no elevados) y alineados con el torso (no elevados ni estirados hacia adelante a menos que estén apoyados en una superficie de trabajo). El 71.4% mantuvo los codos cerca del cuerpo (no extendidos hacia adelante o hacia afuera a menos que estén apoyados en una superficie de trabajo o en los reposa brazos de una silla). El 75% de los usuarios mantiene los antebrazos aproximadamente paralelos al piso y a unos 90 a 100 grados con respecto a la parte superior del brazo. 70.4% mantiene las muñecas y las manos rectas y alineadas con el antebrazo (no dobladas hacia arriba/abajo o hacia los lados). Valoración de miembros inferiores (muslo, piernas, pies). El 82% de los usuarios mantienen una postura de los muslos aproximadamente paralelos al piso (y la parte inferior de las piernas está aproximadamente perpendicular al piso). Los muslos pueden estar ligeramente elevados por encima de las rodillas, para posturas sentadas declinadas. Debe haber suficiente espacio debajo de la superficie de trabajo para que los muslos tengan espacio libre entre la parte superior de los muslos y la mesa de la computadora/plataforma del teclado (los muslos no quedan atrapados). Se encontró que el 7.4% de los usuarios no cumplen con esta condición. Con respecto a las piernas y los pies, el 96.4% tienen suficiente espacio hacia adelante debajo de la superficie de trabajo para que el usuario pueda acercarse al teclado/dispositivo de entrada, solo se identificó a una persona que no cuenta con esta condición. En lo que refiere a los pies, solo el 60.7 % descansan planos sobre el piso o están apoyados en un reposa pies estables si la superficie de trabajo no se puede ajustar.

*Valoración de muebles utilizados en el centro de trabajo:* Los bordes afilados o cuadrados que entran en contacto con las manos, las muñecas o los antebrazos están acolchados o redondeados solo en un 50% de los usuarios. El 57.1% de las sillas tienen respaldo con ajuste de altura para brindar apoyo para la parte inferior de la espalda (área lumbar). El 75% de las sillas tienen una base resistente de cinco patas. El ancho y la profundidad del asiento deben adaptarse al usuario específico (el asiento debe ser lo suficientemente ancho para facilitar la salida y lo suficientemente profundo para soportar todo el muslo, pero no tan profundo que el usuario no pueda utilizar el soporte lumbar). Solo el 78.6 % mantienen esta condición. El frente del asiento no presiona contra la parte posterior de las rodillas y la parte inferior de las piernas del usuario (el asiento no es demasiado largo). Los muslos no cuelgan significativamente del borde delantero del asiento. (La bandeja del asiento no es demasiado corta). Solo el 42.9% cumple con esta condición. El 100% de los asientos de los usuarios son acolchados y redondeados con un frente en forma de “cascada” (sin bordes afilados). Solo el 67.9% de los usuarios pueden ajustar la altura del asiento y permite una alineación adecuada con la superficie de trabajo. Los reposa brazos, si se usan, deben ser ajustables (hacia arriba y hacia abajo y hacia adentro y hacia afuera) y apoyar ambos antebrazos mientras el usuario realiza tareas en la computadora. No deben interferir con el movimiento o posicionamiento de la silla debajo de la superficie de trabajo, solo el 21.4% cumple con esta condición. El 14% de los usuarios cuenta con reposacabezas o es ajustable y no empuja la cabeza hacia delante más allá del punto muerto. Se encontró que el 75% de los usuarios con silla, cuentan con ruedas apropiadas para la superficie del piso. (Se mueven con facilidad sobre alfombra u otras superficies blandas, pero no se mueven tan fácilmente sobre baldosas o superficies duras como para que la silla se “deslice” al sentarse o levantarse de la silla). Solo en 64% los ajustes son sencillos y fáciles de realizar mientras está sentado en la silla.

*Valoración del teclado/dispositivo de entrada:* se tomó en cuenta el dispositivo señalador (ratón, trackball, lápiz táctil, ratón giratorio, joystick, entre otros). El 89.3% de las plataformas del teclado/dispositivo de entrada son estables y suficientemente grandes para contener un teclado y un dispositivo de entrada. En el 75% se pueden ajustar para que las manos queden colocadas sobre el teclado con los codos cerca del torso en un ángulo de 90 a 100 grados. El teclado se puede ajustar a una pendiente horizontal o ligeramente negativa para un 85.7% de los usuarios. El dispositivo de entrada (ratón o trackball) está ubicado justo al lado del teclado para que pueda operarse sin tocarlo, lo más cerca posible de la línea media del cuerpo y al mismo nivel que el teclado en el 92.9%. El dispositivo de entrada es fácil de activar y la forma/tamaño se adapta a la mano (no demasiado grande/pequeño) en el 94.6% de los usuarios. Puede ser deseable tener un dispositivo de entrada que se pueda usar con cualquier mano para proporcionar períodos de descanso en el trabajo. El 88.5% de los usuarios que utiliza un dispositivo de pantalla táctil para la entrada de datos, tienen disponible un teclado y un mouse separados si la duración del

uso es de más de 2 horas por día o 30 minutos a la vez. Solo el 42.9% de los usuarios no cuentan con bordes afilados o duros que entren en contacto con las muñecas y las manos.

*Valoración del monitor y su ubicación.* El 82.1% de los monitores tienen capacidad de ajuste suficiente para que la parte superior de la pantalla esté al nivel de los ojos o por debajo de él, de modo que el usuario pueda leerlo sin tener que inclinar la cabeza o el cuello hacia abajo o hacia atrás. El 75% tienen la capacidad de ajuste suficiente para que los usuarios con lentes bifocales/trifocales puedan leer la pantalla sin tener que inclinar la cabeza o el cuello hacia atrás. Solo el 75% cuenta con espacio suficiente para que el monitor pueda colocarse a una distancia que permita al usuario leer la pantalla sin inclinar la cabeza, el cuello o el tronco hacia adelante o hacia atrás. (Generalmente, alrededor de 18 a 20 pulgadas o la longitud del brazo), en el 78.6 % de los usuarios la posición del monitor está directamente frente al usuario para que no tenga que torcer la cabeza o el cuello. Si se utilizan varios monitores, la posición del monitor principal está directamente frente al usuario y los otros monitores están directamente al lado. Si el tiempo se divide en partes iguales entre los monitores, estarán uno al lado del otro dentro de un ángulo de visión cómodo con un movimiento mínimo de la cabeza, solo el 37% cumple con esta condición. Solo el 35.7% de los usuarios de PVD, el resplandor (de ventanas, luces) no se refleja en la pantalla, lo que hace que el usuario entre cierre los ojos o adopte posturas incómodas para ver claramente la información en la pantalla y en el 96.4% el brillo y el contraste del monitor se ajustan para mayor comodidad. *Valoración de dispositivos móviles.* El 23.1% utiliza computadoras portátiles como computadora principal, se configuran con los mismos principios ergonómicos que las computadoras de escritorio y se proporciona un teclado y un dispositivo de entrada separados. El 96.2% de los usuarios que usan computadoras portátiles fuera de la oficina (p. ej., en un avión, en un hotel o en casa), la postura del usuario debe cambiarse regularmente para mejorar la postura del cuello y las muñecas y la duración del tiempo en la computadora portátil debe minimizarse. El 96% de los usuarios que utilizan computadoras portátiles que se usan en los vehículos se configuran en un ángulo cómodo y se usan con poca frecuencia. El usuario debe tomar descansos frecuentes en tareas de la computadora. El 84.6% de los usuarios usan un teclado y un lápiz óptico separados o están disponibles cuando las tabletas se usan para escribir durante largos períodos de tiempo. Las tabletas y los teléfonos inteligentes deben usarse con los hombros relajados, los brazos colocados cerca del torso y el cuello en una postura neutral sin doblar demasiado el cuello para ver la pantalla, solo el 85.7% cumple con esta condición.

*Valoración de accesorios* (porta documentos, reposa manos/muñeca, muñeca/palma, teléfono, auricular, reposa pies). Solo el 40.7% cuenta con una porta documentos estable y lo suficientemente grande para contener documentos (papel, carpetas o libros). Solo el 25.9% lo coloca aproximadamente a la misma altura y distancia que la pantalla del moni-

tor, el 36% cuenta con un reposa manos/muñeca acolchado y el 40% cuenta con un reposa muñeca/palma que le permite al usuario mantener los antebrazos, las muñecas y las manos rectos y alineados cuando usa el teclado/dispositivo de entrada. La altura coincide con el borde frontal del teclado. El 70.4% coloca el teléfono cerca del trabajo para evitar alcances excesivos, generalmente, dentro de 18 a 20 pulgadas. 74.1 % utiliza el teléfono con la cabeza erguida (no doblada) y los hombros relajados. Si el teléfono y la computadora se usan al mismo tiempo, esto puede requerir el uso de auriculares. Solo el 36% manifiesta que el auricular, si se usa, tiene un ajuste cómodo. Ni demasiado apretado, ni tan suelto que no mantenga su posición en la cabeza del usuario. Solo el 11.1% de los usuarios usan reposa pies, Se proporciona un reposa pies si los pies no están apoyados en el piso porque el teclado y el monitor no tienen suficiente capacidad de ajuste. Si se usa, el reposa pies debe estar inclinado y apoyar ambos pies. El 64.3 % de los usuarios cuenta con una estación de trabajo y el equipo con capacidad de ajuste para que los usuarios estén en una postura de trabajo segura/de apoyo y puedan hacer cambios ocasionales de postura mientras realizan tareas informáticas, el 96.4% de las estaciones de trabajo con computadores, los componentes y los accesorios se mantienen funcionales. Los elementos a los que se debe acceder con frecuencia están al alcance de la mano, generalmente con los codos cerca del cuerpo. Los artículos que se usan ocasionalmente pueden estar al alcance de casi todo el brazo, esto en el 85.7% de los usuarios. Las tareas de la computadora están organizadas de una manera que permite a los usuarios variar las tareas del teclado con otras actividades laborales, o brinda la oportunidad de micro descansos o pausas de recuperación mientras está en la estación de trabajo de la computadora en el 92.9% y el 75% tiene la capacidad de alternar entre posturas o actividades sentadas y de pie para brindar oportunidades de movimiento y variabilidad a lo largo del turno. Se debe evitar permanecer sentado o de pie durante mucho tiempo. Los niveles de iluminación son ajustables para diferentes tareas. Se deben proporcionar luces de trabajo más brillantes para el papeleo y se debe usar una iluminación más baja para el trabajo informático general. El 71.4% cumple con esta condición.

*Recomendaciones y medidas preventivas:* El reconocimiento de signos y síntomas de problemas de salud relacionados con el trabajo en oficinas y el uso de computadores es fundamental para anticiparse a una complicación mayor y tomar medidas en forma prematura. Además, resulta relevante reconocer la importancia de las pausas y descansos junto con su implementación formal, así como las “micro pausas” y eventualmente los ejercicios compensatorios asociados a manos, antebrazos, cuello, hombros, espalda y extremidades inferiores. Algunos tópicos contenidos en este punto deben incluir: Reconocimiento y reporte temprano de signos y síntomas musculoesqueléticos. Importancia de los cambios de postura, antes de la aparición de incomodidad, fatiga o dolor. El realizar actividad física fuera del lugar de trabajo y educación en estilos de vida saludable, considerando los aspectos de alimentación sana.

*Consideraciones finales y periodicidad:* Se recomienda iniciar con un plan de concientización e informar a los usuarios sobre buenas prácticas y redistribución de las áreas de trabajo para mejorar sus estaciones de trabajo por lo menos una vez al año o cuando se realicen ajustes de tareas o cambios de puesto, dando prioridad a los equipos que salieron más bajos, para su atención en medidas correctivas y/o preventivas, con ello también se busca evitar de manera temprana que surjan efectos en la salud de los trabajadores.

## **Conclusiones**

De acuerdo con los resultados en el resumen de análisis de factores de riesgo, es importante realizar las observaciones y establecer un plan de recomendaciones que pueden ayudar a los usuarios de computadoras a estar cómodos y seguros y mejorar el diseño de su puesto o estación de trabajo, así como reducir la probabilidad de padecer un TME o alguna dolencia o incomodidad derivada de una mala postura. Se recomienda la colaboración entre los trabajadores, empleadores y supervisores, aportando un enfoque práctico, preventivo y participativo en la identificación y control de los factores de riesgo y por consecuencia mejorar las condiciones de trabajo, se sabe por experiencia y estudios relacionados que las condiciones generalmente se pueden corregir de manera casi inmediata realizando pequeños ajustes en los centros de trabajo, sin que esto represente un costo adicional, pero es importante el involucrar a los usuarios de forma práctica y periódica, para ello se recomienda el uso del modelo propuesto por la OMS (2010) para la creación de entornos de trabajo saludables. La demanda del trabajo debe equilibrarse con la capacidad humana para realizar las tareas encomendadas. El equilibrio entre la demanda laboral y la capacidad humana permite la optimización de la productividad y la calidad, al tiempo que minimiza el riesgo de que surjan efectos negativos tales como fatiga, incomodidad, estrés o lesiones. También se recomienda continuar con la investigación en otros centros de trabajo que utilizan PVD, así como la realización de una evaluación ergonómica específica en las áreas donde se ha identificado mayor factor de riesgo.

## **Referencias**

- Cañas, J. (2011). Ergonomía en los sistemas de trabajo. Grupo de Ergonomía Cognitiva de la Universidad de Granada. Editorial: Secretaría de Salud Laboral de la UGT-CEC.
- García, J. (2017). Marco jurídico aplicable a la ergonomía laboral en México. Revista de investigación en Derecho, Criminología y Consultoría Jurídica / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. ISSN: 1870-6924 / Año 11, No. 21, abril-septiembre de 2017 / pp. 193-216
- IMSS (2020). Frecuencia de accidentes de trabajo según región anatómica y grupos de edad. Capítulo VII. Salud en el trabajo. Disponible en: <https://imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2020>

- INSST (2021). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos con pantallas de visualización del INSST REAL DECRETO 488/1997, de 14 de abril, BOE nº 97, de 23 de abril.
- INSST (2020). Riesgos ergonómicos en el uso de las nuevas tecnologías con pantallas de visualización. Notas Técnicas de prevención NTP-1150.
- ISPCH (2016). Instituto de Salud Pública de Chile. Guía de Ergonomía: Identificación y control de factores de riesgo en el trabajo de oficina y el uso de computador. Disponible en: <http://www.ispch.cl/saludocupacional>, publicaciones de referencia
- ISPCH (2014). Instituto de Salud Pública de Chile. Guía de ergonomía para la micro y pequeña empresa en Chile. Disponible en: [https://www.ispch.cl/sites/default/files/resolucion/2015/04/Resolucion\\_exenta\\_862.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/resolucion/2015/04/Resolucion_exenta_862.pdf)
- ISTAS (2015). Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. Gobierno de España. Métodos de evaluación ergonómica. Disponible en: <https://istas.net/herramientaspymes>
- OMS (2010). Organización Mundial de la Salud. Creación de entornos de trabajo saludables: un modelo para la acción: para empleadores, trabajadores, autoridades normativas y profesionales citado en “entornos de trabajo saludables. definición y modelo propuesto por la OMS”. Disponible en: <https://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTecnica21.pdf>
- OSHA (2022). Administración de Seguridad y Salud Ocupacional: Departamento de Trabajo de Estados Unidos. Lista de verificación para evaluar estaciones de Trabajo Informáticas ETOOL.
- SEGOB (2014). Diario oficial de la Federación. Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo en cuyo artículo 3, apartado XVI. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5368114&fecha=13/11/2014#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5368114&fecha=13/11/2014#gsc.tab=0)
- UGT-Madrid (2020). Secretaría de Salud Laboral y Desarrollo Territorial. Manual Informativo de PRL: “Ergonomía. Riesgos Ergonómicos”.

# Capítulo 8

## Retos y oportunidades en la academia de teoría de control

José Manuel Campoy Salguero  
Adolfo Soto Cota  
Pablo Alberto Limón Leyva  
Juan José Padilla Ybarra

### Resumen

Durante el regreso a cursos presenciales de teoría de control, en los estudiantes se hizo evidente el rezago en las habilidades y competencias relacionadas con el modelado y la aplicación de los algoritmos de control, lo que compromete el cumplimiento de las competencias finales del bloque. La academia de teoría de control se da a la tarea de diseñar un curso donde el fundamento sea el modelado, la simulación y la aplicación de los algoritmos de control en plantas y situaciones reales. Actualmente el curso está en prueba y se esperan pronto sus resultados.

### Antecedente

#### ***Situación durante la contingencia sanitaria***

Para nadie fue un secreto que, en forma muy general, los centros de enseñanza en el mundo (México) no estaban preparados para impartir educación a distancia de calidad. La situación de pandemia debida al COVID19 ha impactado de manera clara en la educación. Los centros educativos han tenido que hacer un gran esfuerzo durante el confinamiento inicial y durante el curso 20-21 para poder adaptarse a la nueva situación. La Educación Híbrida (EH), entendida como la combinación de la enseñanza presencial y la virtual mediante tecnologías digitales, se ha convertido en una necesidad (Olmos-Migueláñez, *et al.*, 2020). La contingencia sanitaria nos presentó situaciones y retos que en aquel momento nos parecieron inalcanzables o muy poco realistas. Afortunadamente con ingenio y esfuerzo se fueron solventando la gran mayoría de los problemas y en diferente medida se dio la atención a los estudiantes.

En nuestro instituto (ITSON), autoridades, áreas de apoyo y docentes nos dimos a la tarea de sumar esfuerzos, con el fin de analizar, recopilar y aplicar las herramientas adecuadas disponibles a fin de que estudiantes y profesores pudieran obtener el máximo beneficio en la modalidad remota. Los desafíos y retos fueron muchos y muy variados. De forma general, el diseño e implantación de la plataforma virtual fue de gran ayuda durante las

clases remotas. Nos permitió estructurar la administración de nuestros cursos. Gran ayuda aportaron también las aplicaciones de reuniones remotas en especial Zoom y Google meet. De forma más particular cada academia tuvo que resolver situaciones más puntuales de tal forma que el impacto de la no presencialidad fuera lo mínimo posible.

En el caso específico de las academias de teoría de control 1 y 2, además de las herramientas y aplicaciones arriba mencionadas, nos vimos en la necesidad de recopilar e incluso diseñar estrategias para proveerle a los estudiantes en la medida de lo posible experiencia de praxis. Se usaron diferentes aplicaciones, programas de software y simuladores para tratar de cumplir con las competencias planteadas en cada curso. Además, se rediseñaron las prácticas de laboratorio para utilizar herramientas de simulación, como sci-lab, simulink o thinkercad. En especial se tomó un enfoque de software libre, que pueda ser utilizado de forma individual y que una computadora común pudiera soportar. Por último, se le proveyó información sobre el diseño de prácticas en casa, donde con equipo básico pudieran realizar pequeños proyectos de control automático y automatización.

### ***Regreso a la presencialidad en cursos de la academia de teoría de control***

Como era de esperarse, durante el regreso escalonado que empezó en ago-dic2021, a pesar de los esfuerzos realizados, se empezaron a detectar algunos inconvenientes. Los estudiantes que regresan al aula y laboratorio (algunos por primera vez en universidad) empezaron a sentir las consecuencias del aprendizaje sin presencialidad. Dejando a un lado los importantes aspectos emocionales, de conducta y psicológicos nos centraremos en las deficiencias de tipo “técnico” o relacionadas con el cumplimiento de las competencias de tipo disciplinar. De forma muy general lo más destacable fue lo siguiente: una especie de desorientación, desconocimiento de habilidades básicas para la estancia en un laboratorio, desconocimiento de los elementos básicos de seguridad y convivencia. Falta de habilidad en el manejo de equipo de laboratorio. Ruptura entre la teoría y la práctica. Por la importancia que tiene en el cumplimiento de las competencias, en este estudio nos enfocaremos con mayor atención en la falta de asociación por parte del estudiante, entre los conocimientos teóricos adquiridos, las simulaciones hechas y la aplicación de la teoría en situaciones reales o al menos situaciones en ambientes controlados. De acuerdo a la orientación del perfil de los programas de ingeniería eléctrica, a los estudiantes se le dirige o motiva hacia la aplicación en situaciones reales de los conocimientos teóricos principalmente con estas tres estrategias: 1) Prácticas de laboratorio en sincronía con temas vistos en clases, 2) Realización de proyectos finales que deben de cumplir con los objetivos de las competencias según sea el curso, y 3) Desarrollo de prototipos en ferias de ciencias, exposiciones o en colaboración con algún tesista de licenciatura, posgrado o con algún profesor investigador.

No está demás comentar que, durante las actividades no presenciales, las tres estrate-

gias antes mencionadas fueron en el mejor de los casos minimizadas al no tener a nuestra disposición las herramientas presenciales. Basando gran parte de su logro en actividades con simuladores por computadora o con “prácticas en casa”, Donde obviamente los recursos, materiales, instrumentos y equipos son bastante limitados. Quedando más al ingenio y la intencionalidad de cada profesor y estudiante el cumplimiento cabal de las competencias.

La academia de teoría de control en un intento de minimizar los efectos negativos de la falta de experiencia práctica, se da a la tarea de analizar los tópicos antes mencionados y entre otras acciones, se propuso diseñar un curso completo de control y automatización dirigido a estudiantes en la etapa terminal de los bloques de automatización y control y del bloque de Instrumentación y control, que no alcanzaron a tomar cursos de Teoría de control 1 y 2 de forma presencial. Dicho curso tiene un enfoque más hacia la práctica y trata de corregir algunas deficiencias tanto a nivel teórico como práctico, tal que ayuden en el cumplimiento de las competencias y atributos de egreso de los programas de Ingeniero en Mecatrónica, Electromecánico y Electrónica.

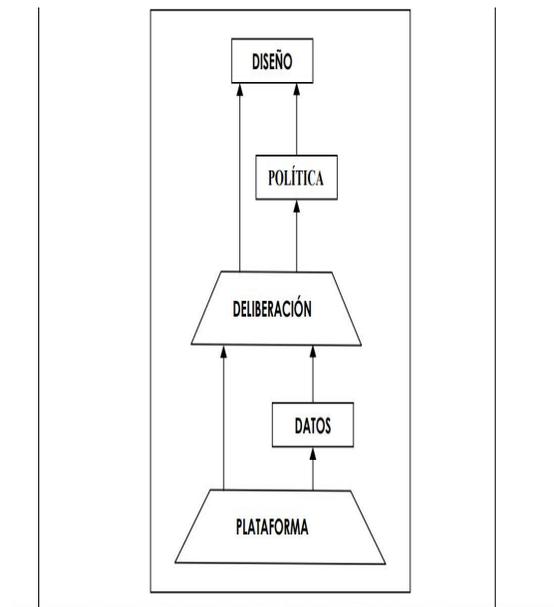
### ***Modelo para el diseño del programa de curso***

Para el diseño de este curso se utilizó un modelo naturalista de tipo deliberativo. Los modelos deliberativos pasan de centrarse en la planificación a ubicarse en los problemas prácticos, tales como las decisiones que deben tomarse en un contexto particular. Puesto que no siempre se conoce exactamente cuál es el problema que hay que resolver, lo mejor es que las personas más próximas al diseño sean las que se impliquen en la identificación de esos problemas (Tejada 2000).

En este planteamiento de diseño curricular, Walker (1972) nos ofrece su modelo denominado naturalista, al estar conectado con la práctica en una situación o entorno particular.

Figura 1

### *Modelo naturalista de Walker, 1972*



El mismo se articula en tres pasos tal como ilustra el ideograma anterior, constitutivos de otros tantos componentes del diseño curricular:

- a) Plataforma: hace referencia al conjunto de concepciones, teorías y objetivos como justificativos de lo que se va a enseñar y lo que se debe hacer.
- b) Deliberación: como proceso que a partir de la plataforma permite el acotamiento de las ideas y tácticas concretas o la forma sistemática para formular diferentes alternativas para la solución de los problemas que se han planteado. La discusión es la metodología más idónea en este nivel para la resolución de dichos problemas.
- c) Diseño: como la toma de decisiones para la acción. Puede ser explícito (soluciones aceptadas después de la discusión) o implícito (acciones que se siguen automáticamente sin considerar alternativas). Todo ello culmina con la elaboración de materiales de enseñanza específicos y la creación de los escenarios educativos, (Estebaranz 1994).

### ***Diseño del programa de curso de control avanzado***

Basándonos en la metodología anterior la academia de teoría de control nos dimos a la tarea de reunir todos los elementos para el diseño curricular. Para ello se determinaron los siguientes pasos o logros individuales:

- 1) Contexto actual, panorama de la situación,
- 2) Análisis y detección de necesidades,
- 3) Especificación de objetivos,
- 4) Planificación del curso,
- 5) Selección y orden de los contenidos,
- 6) Estrategias metodológicas y

7) Definición de los actores de la formación, (perfil del profesor, selección de medios: aula, laboratorio, equipo, etc).

Contexto actual, panorama de la situación. Aquí nos centraremos en deficiencias disciplinares relacionadas con el logro de las competencias. Para empezar, se detecta un rompimiento entre los conceptos teóricos y los prácticos. La mayoría de los estudiantes pueden resolver un caso de estudio en “papel” pero no tienen idea de cómo llevarlo a la práctica. El uso de modelos matemáticos es indispensable para el análisis de sistemas dinámicos, la situación real es que solo unos pocos estudiantes comprenden estos temas, son pocos los que pueden entender un modelo matemático como representación de una realidad y menos los que pueden utilizar matemáticas para realizar su propio modelo. Cabe destacar que esta problemática detectada, no es una causa sino solo el reflejo de deficiencias en la comprensión lógica matemática del estudiante, y representa un lastre que no permite el cabal cumplimiento de las competencias del bloque.

Análisis de detección de necesidades. Derivado del panorama anterior, nos parece natural primero definir qué conocimientos básicos se necesitan y cómo se puede minimizar la brecha que existe entre conocimientos teóricos adquiridos y la práctica. Dentro de los conocimientos básicos, están los del área de matemáticas: aritmética, trigonometría y sobre todo álgebra, donde no se domina ni su conocimiento ni la estructura lógica de su abstracción. Siguiendo con cuestiones básicas de física en general, mecánica, fenómenos eléctricos y magnéticos, física del estado sólido, entre otros. Además de los conocimientos, se necesita lograr la conexión con el modelado de sistemas dinámicos. En este caso definiremos modelar como la acción de representar una realidad para facilitar su comprensión, análisis, medición de variables y su posterior control. En esta área del conocimiento, las matemáticas, en especial el uso de ecuaciones diferenciales son una poderosa herramienta en el proceso de modelado. De ahí la importancia que los estudiantes dominen estos conceptos.

### ***Especificación de los objetivos***

El objetivo principal de este curso debe basarse en la competencia final del bloque: Automatizar procesos industriales con base a la selección e integración de tecnologías eléctricas, electrónicas, neumáticas, hidráulicas y mecánicas. Por lo tanto, el objetivo principal de este curso es corregir las deficiencias en los aspectos prácticos en la teoría de control por medio del diseño de sistemas de control aplicados a sistemas mecatrónicos reales.

### ***Planificación de curso***

El curso tiene un componente teórico, un componente de diseño de algoritmos de control, un componente de simulación en software y el último de aplicación en plantas mecatrónicas reales. Cada componente tiene un requerimiento de información, una meta definida

y la validación de su cumplimiento. En curso se diseña para 45 horas definidas dentro de los cursos de optativas. Se tiene contemplado utilizar al menos tres plantas mecatrónicas donde validen los algoritmos de control propuestos. Esto último será la evaluación del desempeño de cada estudiante.

### ***Selección y orden de los contenidos***

Se iniciará con los conocimientos teóricos básicos de modelado de sistemas dinámicos y de los sistemas de control. Posteriormente se presentan los diseños de los algoritmos de control y de observación, iniciando con control clásico de diseño a base de error, para seguir después con el uso de representación en espacio de estado. Para finalizar se proponen diseños de control no lineal avanzado. De forma paralela a lo anterior se revisarán las herramientas principales de simulación, en especial simulink de MatLab (Kumar 2013). Siguiendo con las herramientas de hardware para la medición y actuación en el control.

### ***Estrategias metodológicas***

Las estrategias estarán basadas en un enfoque de solución de problemas. Donde se definen de forma breve los siguientes pasos:

- Reconocer el problema
- Describir el problema
- Identificar y analizar las causas
- Identificación de soluciones opcionales
- Valoración y toma de decisiones

Durante el desarrollo del curso, se le presentarán al estudiante varios casos de estudios, donde se revisará desde el modelado, la identificación de parámetros, el diseño de algoritmos de control, la simulación en software de su desempeño dinámico y por último su aplicación en una planta real de laboratorio. Durante todo este proceso se identificarán varias herramientas de análisis que facilitan la solución de problemas y su implementación, como parte de las habilidades y destrezas que se necesitan para cumplir con las competencias del bloque de Automatización y control.

Consideramos que esta estrategia metodológica permite analizar los problemas no como hechos aislados sino como parte de un proceso, donde el análisis de sus causas y la influencia de las posibles soluciones afecta no solo la solución de una parte del proceso si la solución completa y el entorno que lo rodea. En esta metodología se facilita dar una respuesta adecuada mediante la segmentación de las actividades a llevar a cabo, delimitando la acción en cada paso, para hacer el proceso más eficiente y evitar la redundancia o la pérdida de tiempo en formas innecesarias (euroinnova 2022).

### ***Definición de los actores de la formación***

En primer lugar, se define el perfil del profesor, donde se debe de considerar a un profesional del control automático que tenga experiencia con el manejo de equipos de laboratorio, además de experiencia en diseño e implementación de sistemas de control. Como el curso se diseña para compensar la falta de prácticas en los cursos de teoría de control, se espera que los estudiantes posean ciertos elementos teóricos básicos. Por lo que se recomienda que hayan cursado y aprobado los cursos de teoría de control 1 y 2. Sin embargo, a criterio de la academia y necesidades específicas se puede permitir el ingreso de estudiantes en casos especiales. Siempre que se le informe que se espera que domine previo al inicio de este curso. También es recomendable que el estudiante tenga acceso a una computadora con los programas de simulación instalados. Se considera un aula de clases estándar. Respecto al laboratorio debe de contar con los elementos básicos de seguridad y comodidad. Específicamente se necesita de al menos dos plantas mecatrónicas (en esta ocasión se proponen el péndulo de Furuta (Furuta, *et al*, 1992) y el péndulo en carro sobre riel (Olfa 2012), ver figuras 2 y 3) donde se realice la implementación de los diferentes algoritmos de control analizados y diseñados en este curso.

Figura 2  
*Péndulo de Furuta*

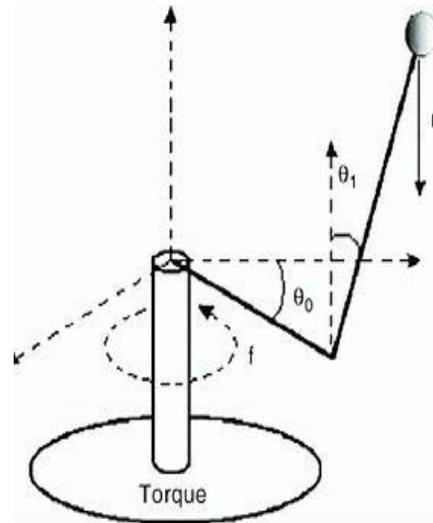


Figura3

## *Péndulo invertido sobre riel*



### **Programa de curso (Resultado)**

#### 1.1 Introducción (sistemas de control, conceptos, ejemplos)

Breve introducción a los sistemas de control, abordando conceptos básicos y algunos ejemplos clásicos de sistemas de control.

#### 1.2 Introducción a plantas: péndulo de Furuta X

Se presentará el modelo del péndulo de Furuta y se explicará cómo funciona todo el sistema de control de manera esquemática desde la adquisición de datos hasta el actuador.

#### 1.3 Introducción a plantas: péndulo invertido en carro sobre riel

Se presentará el modelo del péndulo invertido en carro sobre riel y se explicará cómo funciona todo el sistema de control de manera esquemática desde la adquisición de datos hasta el actuador.

#### 1.4 Exposición del sistema físico del péndulo de Furuta

Exposición de todo el sistema físico de control del péndulo de Furuta desde la adquisición de datos hasta el actuador en el laboratorio.

#### 2.1 Sistemas lineales: modelado y control de sistemas SISO

Se abordarán los conceptos básicos de sistemas lineales y obtención de modelos lineales por medio de linealización. Breve introducción sobre algunas técnicas de control para sistemas lineales.

##### 2.1.1 Función de transferencia, control PID y ejemplos

Se abordará la representación de sistemas lineales caracterizados por función de transferencia. Introducción a control PID: presentación de aplicaciones y ejemplos utilizando control PID.

2.1.2 Espacio de estados para sistemas SISO: conceptos, modelado, realimentación del estado. Se abordará la representación de sistemas lineales con una entra-

da y una salida (SISO) en espacio de estados, la técnica de control por medio de la realimentación del estado y se proporcionarán ejemplos.

2.1.2.1 El péndulo de Furuta visto como un sistema SISO. Se modificará la representación del modelo proporcionado por el proveedor del péndulo de Furuta para ver el sistema como un sistema de una entrada y una salida.

2.1.2.2 El péndulo invertido en carro sobre riel visto como un sistema SISO. Se modificará la representación del modelo proporcionado por el proveedor del péndulo invertido sobre riel para ver el sistema como un sistema de una entrada y una salida.

2.2 Sistemas lineales: modelado y control de sistemas MIMO en espacio de estados  
Se abordará la representación de sistemas con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) en espacio de estados, la técnica de control por medio de la realimentación del estado y se proporcionarán ejemplos. Se presentará el modelo del péndulo de Furuta y/o el péndulo en carro sobre riel identificando entradas y salidas. Breve presentación de una planta MIMO (TRMS).

2.3 Implementación en péndulo de Furuta y/o péndulo carro sobre riel.

Se implementarán las técnicas de control PID y por realimentación del estado en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel para el modelo linealizado.

3.1 Sistemas lineales: observación y control basado en observación

Introducción al problema de observación del estado y control basado en observación para sistemas lineales.

3.1.1 Observación de estados no medibles

Se abordarán conceptos básicos del problema de observación. Introducción al diseño de observadores tipo Luenberger (lineal) para estimar estados no medibles. Ejemplos ilustrativos del diseño de observadores.

3.1.2 Control basado en observación

Se abordará el problema de control basado en observación. Introducción al principio de separación para el diseño del observador y controlador por realimentación del estado independientemente. Ejemplos ilustrativos.

3.2 Implementación de un observador y control basado en observación en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel

Se implementará un observador en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel para el modelo linealizado. Se implementará la técnica de control basada en observación en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel para el

modelo linealizado.

#### 4.1 Sistemas no lineales y control convexo

Introducción: sistemas no lineales y aplicación del control convexo.

##### 4.1.1 Modelado convexo

Introducción al modelado convexo de sistemas no lineales autónomos y no autónomos para una región de operación dada.

##### 4.1.2 Análisis basado en el método directo de Lyapunov.

Análisis de estabilidad en sistemas no lineales autónomos utilizando una función candidata de Lyapunov del tipo cuadrática.

##### 4.1.3 Realimentación

Estabilización por realimentación del estado utilizando una función candidata de Lyapunov del tipo cuadrática.

#### 4.2 Implementación de un control convexo en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel.

Se implementará la técnica de control convexo en el péndulo de Furuta y/o el péndulo invertido en carro sobre riel para el modelo linealizado.

## Conclusiones

Este curso es un intento para minimizar el rezago en la práctica de los sistemas de control. De ninguna manera se considera que sea la mejor solución mucho menos la única para tratar estos problemas que se presentan al regresar a la presencialidad. Se proveyeron las bases teóricas para el diseño y la implementación de algoritmos de control en plantas reales. Se considera que este curso es un equilibrio entre teoría y práctica. También se buscó el equilibrio entre conocimientos clásicos de control y conocimientos de punta o considerados avanzados. Falta la validación del cumplimiento de las metas, al ser un curso a prueba que se implementa por primera vez este verano de 2022. Como trabajo a futuro se proyecta además de la evaluación, el análisis de resultados, la modificación de contenido y de las prácticas diseñadas. También se prevee que las experiencias y resultados de este curso influyan en el rediseño curricular próximo en los cursos básicos del bloque de automatización y control.

## Referencias

Estebaranz, A. (1994) Didáctica e innovación curricular, Sevilla: Servicio Publicaciones Universidad de Sevilla.

- Euroinova (2022). Metodología para la solución de problemas. Extraído en junio 2022 desde: <https://www.euroinova.mx/blog/que-es-la-metodologia-de-solucion-de-problemas>.
- Furuta, K., Yamakita, M., Kobayashi, S. (1992). Swing-up control of inverted pendulum using pseudo-state feedback, *Journal of Systems and Control Engineering*, 206(6), 263-269
- Olmos-Migueláñez, S.; Frutos-Esteban, F.J.; García-Peñalvo, F.J.; Rodríguez-Conde, M.J.; Bartolomé, A.R. y Salinas, J. (Ed.) (2020). Libro de actas de la II Conferencia Internacional de Investigación en Educación 2021: Retos de la educación post-pandemia (3-5 de noviembre de 2021, Instituto Universitario de Ciencias de la Educación, Universidad de Salamanca). Salamanca.
- Ofla Boubalker (2012), "The Inverted Pendulum: A fundamental Benchmark in Control Theory and Robotics," 2012 International Conference on Education and e-Learning Innovations.
- Roshan Kumar, Ravi Bhushan and Jayanta Das (2013). Modeling and simulation of inverted pendulum system using Matlab: Overview. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, ISSN: 2320-2092, Volume- 1, Issue- 4, Oct-2013.
- Tejada, J. (2000) Estrategias didácticas para la adquisición de conocimientos, *Revista Española de Pedagogía*, 217, 491-513.

# Sección 2: Indicadores educativos



# Capítulo 9

## Estrategias para mejorar indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, de cohortes generacionales

Dilcia Janeth Téllez García  
Juan Josué Ezequiel Morales Cervantes  
María del Carmen Zazueta Alvarado

### Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo establecer estrategias dirigidas a los indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, a partir del análisis de la trayectoria escolar de cohortes generacionales, del programa educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas en campus Empalme del Instituto Tecnológico de Sonora, lo anterior para mejorar la problemática de eficiencia terminal que presentaba el programa, además de contribuir con la mejora continua, requisito para la acreditación por parte del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C. Para lo anterior, se estableció como primera actividad la revisión de los indicadores de trayectoria escolar, después el análisis estadístico para las últimas tres cohortes generacionales. La metodología que se implementó para el plan de mejora es el Circulo de Deming, conformado por cuatro fases, a decir, la de Planear, Hacer, Verificar, y Actuar. Después de aplicado el método, se obtuvo como principal resultado la realización de un plan de mejora a través de una serie de estrategias, las cuales se aplicarán a partir del semestre agosto-diciembre del 2022. Se concluye que la revisión periódica de los indicadores de trayectoria escolar permite identificar la situación de las cohortes generacionales, y a partir de ésta, desarrollar estrategias para la mejora continua, que contribuyan al incremento de la eficiencia terminal.

Palabras claves: Estrategias, indicadores, cohorte generacional

### Introducción

Un aspecto fundamental en una organización es decidir qué y cómo se va a medir su desempeño, ya que la elección de lo que se debe medir a diferentes niveles de la estructura comunica valor, encauza el pensamiento de los empleados y fija las prioridades. Las medidas son un medio sistemático para convertir las ideas en acción, por lo tanto,

la medición constituye uno de los aspectos esenciales en el control estadístico y en la estrategia de mejora Seis Sigma. Es necesario medir lo que es importante y clave en los procesos, así como los resultados que se quieren mejorar. La siguiente frase sintetiza esta idea: “dime qué mides y cómo lo analizas y te diré qué es importante para tu área y para tu empresa” (Gutiérrez y De la Vara, 2009).

En el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), se cuenta con un sistema de indicadores que según Hernández y Vizán (2013) lo definen como accesible y fiable para capturar, medir, analizar y evaluar los resultados y desviaciones respecto al objetivo de manera metódica y fiable, estos indicadores miden la trayectoria escolar, que puede definirse como el recorrido que realiza un estudiante, o una cohorte generacional (conjunto de estudiantes que ingresó en un mismo periodo), en un tiempo y un espacio escolar determinado por condiciones institucionales particulares (UNISON, 2018), para cada Programa Educativo (PE), de los cuales por su relevancia se han seleccionado para este estudio, el de Reprobación, que muestra los estudiantes que obtuvieron una calificación no satisfactoria en sus cursos, también el de Rezago, que muestra avance de los estudiantes de la cohorte, según sus cursos acreditados, y finalmente el de Abandono escolar, que muestra a los estudiantes de la cohorte que abandonaron el programa educativo, los requisitos para ser considerado en este medible es que el estudiante realice cambio de carrera o acumule cuatro ciclos continuos sin inscripción (SITE, 2022).

En el contexto de un sistema educativo de mayor calidad, donde los países desarrollados han logrado una mejor posición, con la implementación de políticas públicas orientadas a la gestión de la calidad de la educación superior, y en las mismas Instituciones de Educación Superior (IES) con el establecimiento de planes de mejora continua que les permita ser más competitivas, se externa lo siguiente:

“Se hace necesario la concepción de un nuevo concepto de calidad integral, que enfatice la evaluación de los procesos y resultados de aprendizaje en lugar del mero cumplimiento de indicadores, y de manera crucial asegure la realimentación a todos los involucrados con el fin de propiciar el desarrollo y la mejora continua de los procesos y programas educativos”. (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior [ANUIES] 2018).

En este sentido, esta investigación va más allá de una revisión de indicadores de trayectoria escolar, se pretende, y como objetivo de la investigación, establecer estrategias dirigidas a los indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, a partir del análisis de la trayectoria escolar de cohortes generacionales, para mejorar el estado actual de los indicadores, y que en conjunto contribuyen a la mejora de la eficiencia terminal.

El presente proyecto, se origina a partir del trabajo colaborativo del cuerpo académico del programa educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas del campus Empalme, dentro del proceso de mejora continua que lleva a cabo dentro del proceso de acreditación del programa por parte del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C. (CACEI).

### **Fundamentación teórica**

El CACEI, tiene como objetivo, mediante la acreditación de los programas educativos en el área de las ingenierías, promover que las IES ofrezcan educación de calidad a los estudiantes inscritos en programas de ingeniería, conforme al marco 2018. En el indicador 2.3 de Trayectoria escolar, de la Rubrica para evaluadores (CACEI, 2020), se deben evaluar las estadísticas y tendencias por cohorte generacional del PE para detectar áreas de oportunidad que incidan en el establecimiento de estrategias de mejora para el desempeño de los estudiantes, lo anterior tiene como objeto, que el PE opere un proceso de seguimiento que permite detectar áreas de oportunidad en su plan de estudios, para cumplir con estándares de calidad de organismos acreditadores, considerando indicadores como: reprobación, rezago y abandono escolar, y haber definido las estrategias orientadas a atender las problemáticas de eficiencia terminal y de titulación (CACEI, 2020).

En consecuencia, según el PDI (2020), la trayectoria escolar de las cohortes generacionales es de suma importancia dentro del Plan de Desarrollo Institucional, específicamente en el Eje rector número uno, el Modelo educativo, que en su objetivo estratégico número tres se propone fortalecer los mecanismos y resultados de trayectoria escolar, lo cual implica contar con los elementos suficientes que apoyen a la identificación, con oportunidad y exactitud, de las problemáticas relacionadas con la permanencia y el desempeño académico de los estudiantes, con el fin de asegurar la trayectoria exitosa de los alumnos.

Sin embargo, en el PDI (2024) en el análisis de sus debilidades se indica la carencia de mecanismos institucionales para integrar el análisis de causas que afectan la trayectoria escolar, y como amenaza se tiene la afectación a la trayectoria escolar por efectos de la pandemia COVID-19. El PDI plantea que la institución debe tener un Modelo educativo innovador y de calidad, que tiene como objetivo fortalecer los mecanismos y resultados de trayectoria escolar, y que cuenta con un 50% de la meta alcanzada, a través del indicador número ocho de eficiencia terminal y número nueve de la tasa de titulación al año de egreso por cohorte, y que se han conferido responsabilidad de cumplimiento a la Vicerrectoría Académica y Direcciones académicas. La Tabla 1, muestra los indicadores del objetivo estratégico número tres: Fortalecer los mecanismos y resultados de trayectoria escolar.

Tabla 1

*Indicadores del objetivo estratégico número tres: Fortalecer los mecanismos y resultados de trayectoria escolar*

#	Indicadores	Base 2016	2017		2018		2019		2020	
			Meta	Real	Meta	Real	Meta	Real	Meta	Real
8	Índice de eficiencia terminal.	23.0	23.5	23.0	23.0	22.9	24.0	22.0	22.9	23.0
9	Tasa de titulación al año de egreso por cohorte.	71.8	77.0	77.0	77.0	78.3	88.0	76.7	80.0	Sin información

*Nota:* Valores expresados en porcentaje. El indicador 8: Índice de eficiencia terminal, ha mantenido un comportamiento estable en los últimos años, por su parte, el indicador 9: Tasa de titulación al año de egreso por cohorte, ha mejorado cerca de cinco puntos porcentuales del 2016 al 2019 (PDI, 2024). Fuente: PDI (2024).

Por lo anterior el presente documento se fundamenta en otros estudios como son los hallazgos de Rodríguez *et al.* (2021), de Bravo *et al.* (2020), de Téllez *et al.* (2016), de Nieblas *et al.* (2019) y de Morales-Cervantes y Urbina-Nájera (2021), que mencionan respectivamente en sus investigaciones, las Estrategias para mejorar la calidad educativa con base en el análisis de la trayectoria académica en el área de ingeniería, Trayectoria Académica de Estudiantes Universitarios, Motivos de la deserción académica, Estrategias para disminuir índice de reprobación y Estrategias para la retención de estudiantes en las universidades.

## Método

La presente investigación es un estudio cuantitativo descriptivo de tipo no experimental en el cual utilizaron como materiales los registros en base de datos del Sistema Integral de Trayectorias Escolares (SITE) de la institución, el sujeto de estudio son los indicadores de trayectoria escolar, a decir, reprobación, rezago y abandono escolar. La metodología utilizada es la propuesta por Hernández y Vizán (2013), en el cual se contemplan las técnicas de la calidad y el análisis mediante el Ciclo PHVA por sus siglas en inglés PDCA, o también llamado el círculo de Deming, considerado una de las técnicas fundamentales para identificar y corregir los defectos.

El procedimiento que se sigue es iniciar con el Plan o Planeación (P), en esta fase se realiza el diagnóstico del problema, se definen los objetivos de mejora y la estrategia para abordarlos, en la segunda fase del procedimiento se lleva a cabo el Do o Hacer (D), que

implica el llevar a cabo el plan durante el semestre enero-mayo del 2022, se realiza el análisis de la situación actual de los indicadores de trayectoria escolar del PE de IIS a través de la herramienta Minitab y Excel, con base a acciones o estrategias previamente planteadas (Gutiérrez, 2010), las cohortes a analizar son de agosto-diciembre 2018, 2019 y 2020, en la tercera fase se procede a realizar a cabo el Control o verificación, analizando los resultados, y finalmente en la cuarta fase del procedimiento se realiza el Act o actuar, que contempla el ajustar, aprender de la experiencia, sacar conclusiones y realizar una nueva planeación.

## Resultados

En la fase de *planear*, se ha establecido el objetivo de la investigación que es, establecer estrategias dirigidas a los indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, del PE de IIS, a partir del análisis de la trayectoria escolar de cohortes generacionales, para mejorar el estado actual de los indicadores.

La fase dos es *hacer*, se recolecto y analizó la relación de alumnos aceptados para cada una de las cohortes antes mencionadas (ver tabla 2).

Tabla 2  
Cohorte 2018, 2019 y 2020 del PE de IIS Empalme

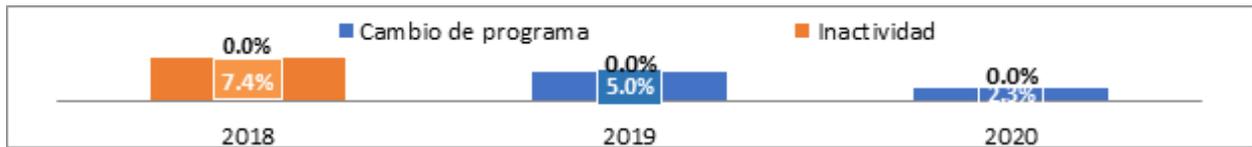
ADMISIÓN					Matrícula de ciclo escolar
Proceso	Solicitudes	Aceptados	Inscritos	Integrantes de la cohorte	
2018	60	58	55	54	233
2019	106	98	82	80	285
2020	62	61	50	43	261

*Nota:* Matrícula del ciclo escolar correspondientes para las cohortes bajo análisis. Fuente: SITE (2022)

Por lo anterior los resultados del análisis de la situación de los indicadores de trayectoria escolar a través de la fase verificar, se obtuvo lo siguiente, para el indicador de abandono escolar del PE, el ITSON distingue dos tipos de abandono, el de interrupción de estudios (inactividad) y cambio de programa educativo, en la Figura 1 se observa el valor de este indicador para cada cohorte y el porcentaje total de abandono escolar e integrantes de las cohortes de IIS y en la Figura 2 muestra el total del porcentaje de abandono escolar de las cohortes en estudio.

Figura 1

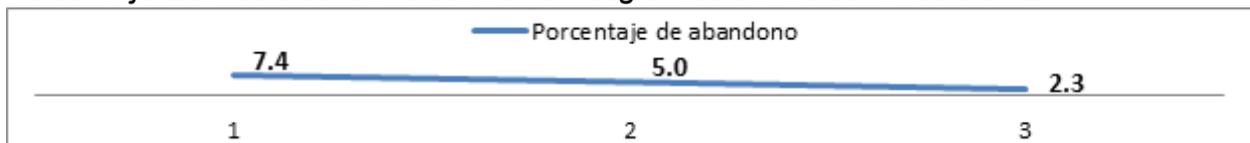
Abandono escolar de las cohortes 2018, 2019 y 2020 de IIS



*Nota:* Valor del indicador abandono escolar por inactividad y cambio de programa por cohorte. La tendencia ha ido a la baja pasando del 7.4% (cohorte 2018) por inactividad a 0% en las cohortes 2019 y 2020, los cambios de programa presentan una tendencia variable por cohorte, en 2018 con 0%, en 2019 aumenta a un 5%, disminuyendo en 2020 a un 2.3%. Fuente: SITE (2022).

Figura 2

Porcentaje total de abandono escolar e integrantes de las cohortes de IIS



*Nota:* El valor del indicador abandono escolar ha ido disminuyendo desde 7.4% (cohorte 2018), hasta 2.3% (cohorte 2020).

Fuente: SITE (2022).

Para lograr el resultado de la Figura 1 y 2, el PE de IIS realizó las siguientes acciones:

**Acción 1:** Organización de la Jornada de inducción y nivelación. El programa educativo de IIS organiza en cada ciclo agosto-diciembre este evento, donde los estudiantes de nuevo ingreso participan en talleres, pláticas informativas y conferencias. Con esto se logra aclarar dudas de la carrera e ir generando convivencia y sentido de pertenencia.

**Acción 2:** Organización de la Semana académica: El programa educativo de IIS organiza este evento anualmente, a través de su coordinación, donde los estudiantes participan a través de visitas a empresas, talleres, conferencias, foros, actividades deportivas y culturales, con esto se logra mayor sentido de pertenencia.

El segundo indicador analizado es el de rezago, la situación actual contempló las siguientes acciones colegiadas implementadas para impactar en los resultados, como son el cambio de plan de estudios, implementación del modelo de trayectorias, asesoría a alumnos, programación de cursos en verano, programa de tutoría y flexibilidad de los horarios para estudiantes que laboran. Una vez aplicado la lista de acciones, se obtuvo los siguientes resultados, con base a un análisis del impacto en el corto plazo de las ac-

ciones implementadas de manera colegiada para atender el porcentaje de alumnos que cuentan con rezago en su plan de estudio.

La Figura 3 muestra la información contenida en el SITE, que es actualizado de manera periódica por el departamento de registro escolar. En específico se consultó el “reporte de seguimiento generacional” para las cohortes 2018, 2019 y 2020, datos de rezago por cohorte.

Figura 3

*Índice de rezago por ciclo escolar*



*Nota:* El rezago aumentó y del tercer semestre se mantiene casi constante. Fuente: SITE (2022).

El comportamiento del rezago, genera oportunidades para la mejora, a través de la generación de nuevas estrategias para disminuir el porcentaje de rezago por cohorte generacional y continuar con las acciones enlistadas, las cuales deben considerar las diversas condiciones de los estudiantes, entre estas, que provienen de la región del valle, estudian y trabajan, son padres de familia, y que otra parte son estudiantes de tiempo completo.

Por último, en el análisis del indicador de reprobación, se realizaron reportes de frecuencia, usando gráficos tipo C o cartas C para defectos, el objetivo de la carta C es analizar la variabilidad del número de defectos por subgrupo, cuando el tamaño de subgrupo se mantiene constante, esto para cada cohorte a través de la herramienta Minitab, ver las Figuras 4, 5 y 6.

Figura 4

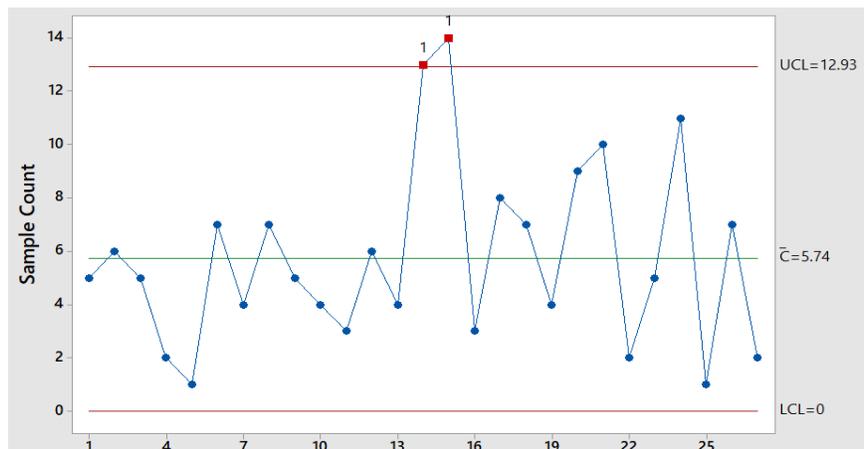
Reporte de frecuencia de reprobación de la cohorte agosto-diciembre de 2018



*Nota:* El número de reprobados por cada curso, el promedio total de reprobados en el ciclo escolar de agosto-diciembre del 2018, fue de 4.58, es decir 5 estudiantes con un valor mínimo de 0 y máximo de 11 estudiantes reprobados; en ese ciclo estuvieron inscritos 233 estudiantes, de los cuales 54 eran de nuevo ingreso y pertenecen por lo tanto a la cohorte 2018. Fuente: SITE (2022).

Figura 5

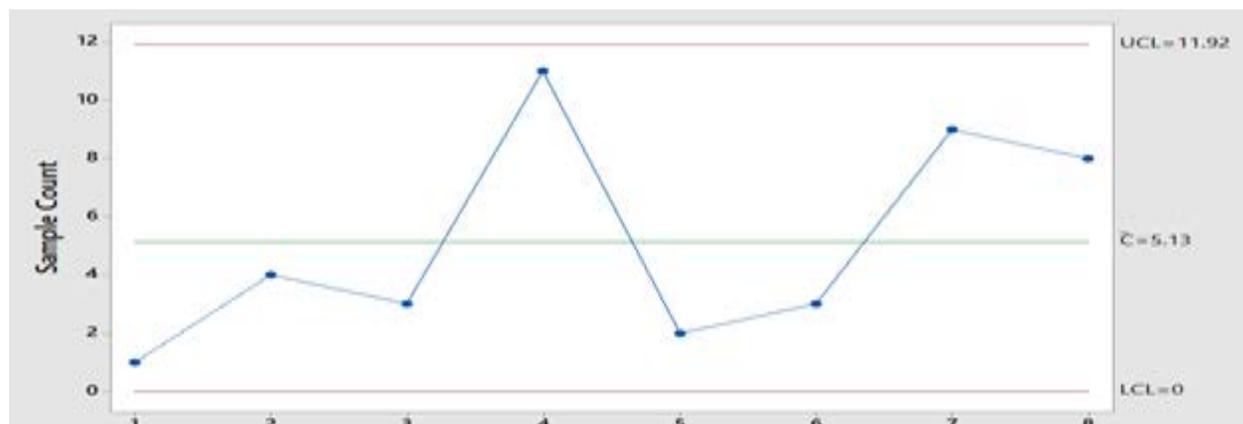
Reporte de frecuencia de reprobación de la cohorte agosto-diciembre de 2019



*Nota:* Número de reprobados por cada curso, el promedio total de reprobados en el ciclo escolar de agosto-diciembre del 2019, fue de 5.74, es decir, 6 estudiantes con un valor mínimo de 0 y máximo de 13 estudiantes reprobados; en ese ciclo estuvieron inscritos 285 estudiantes, de los cuales 80 eran de nuevo ingreso y pertenecen por lo tanto a la cohorte 2019. Fuente: SITE (2022).

Figura 6

Reporte de frecuencia de reprobación de la cohorte agosto-diciembre de 2020



*Nota:* Número de reprobados por cada curso, el promedio total de reprobados en el ciclo escolar de agosto-diciembre del 2020, fue de 5.13, es decir, 6 estudiantes con un valor mínimo de 0 y máximo de 12 estudiantes reprobados; en ese ciclo estuvieron inscritos 261 estudiantes, de los cuales 43 eran de nuevo ingreso y pertenecen por lo tanto a la cohorte 2019. Fuente: SITE (2022).

Al analizar los indicadores de reprobación de estas tres cohortes, lo ideal es tener cero reprobados, sin embargo, existen variables propias del estudiante en las cuales la institución tiene poca o nula oportunidad para implementar acciones, que dificultan el tener un valor de cero reprobados por curso. En este proyecto, se consideró como acción tomar aquellos cursos que sobrepasan el promedio de reprobados y los límites superiores de reprobación que se presentan en la Figura 4, 5 y 6, para realizar un plan de acción de contención para el ciclo agosto-diciembre del 2021 y continuar con un plan de mejora para los ciclos subsecuentes.

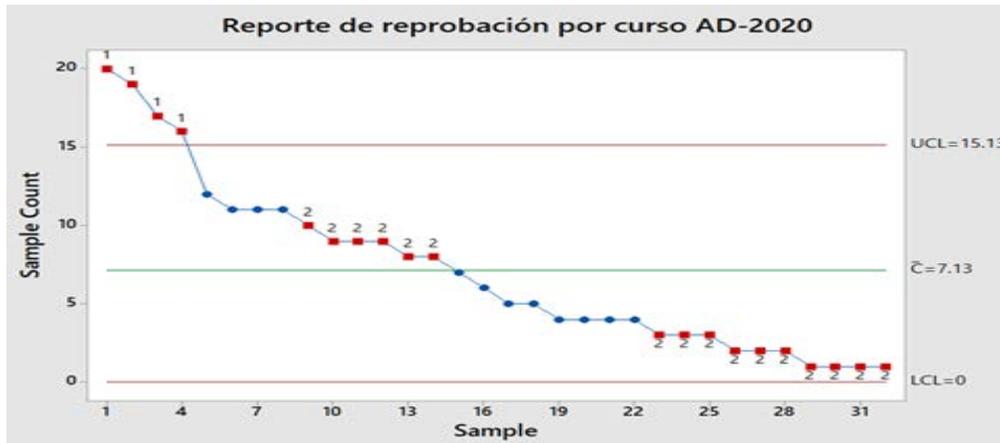
La lista de acciones implementadas al inicio del semestre agosto-diciembre del 2021, fueron: Brindar asesoría académica, brindar asesoría par (estudiante con estudiante) en los cursos de ciencias básicas y solicitar reporte de medio término para analizar seguimiento de estudiantes y motivarlos a dar de baja el curso, quienes no cumplieran con las competencias mínimas. Antes de finalizar el semestre se solicitó a los profesores por asignatura un análisis de los estudiantes rescatables en el logro de las competencias mínimas, para brindar la oportunidad de hacer entrega tardía de actividades, pero si cumplir con los criterios de evaluación de cada materia.

A continuación, en la Figura 7 se muestra el comportamiento de los cursos a considerar para el plan de contención del índice de reprobación del periodo agosto-diciembre del 2020, y en la Figura 8, se muestran los resultados del plan de contención para reducir el índice de reprobación para el periodo agosto-diciembre del 2021. Esta información fue

obtenida del reporte de reprobación por curso para agosto-diciembre 2020 del plan IIS 2016.

Figura 7

Reporte de reprobación por curso para agosto-diciembre de 2020

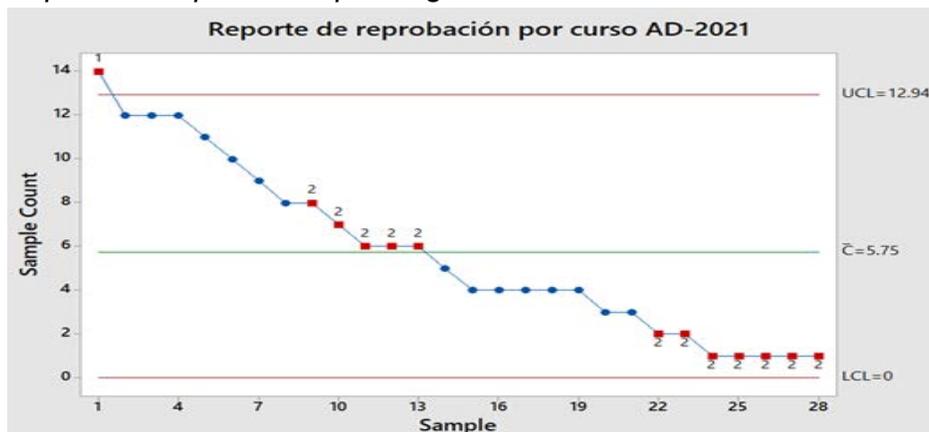


*Nota:* Número de reprobados por cada curso, el promedio total de reprobados en el ciclo de agosto-diciembre del 2020 es de 7.13 estudiantes, es decir 8, con base a los límites de control que oscilan entre 0 y 16 reprobados, se han considerado 15 cursos críticos de 32, por encontrarse en la media o superior a esta.

En la Figura 8, se muestran los resultados del plan de contención para reducir el índice de reprobación para el periodo agosto-diciembre del 2021.

Figura 8

Reporte de reprobación por curso para agosto-diciembre de 2021



*Nota:* Número de reprobados por cada curso, el promedio total de reprobados en el ciclo de agosto-diciembre del 2021 es de 5.75 estudiantes, es decir 6, con base a los límites de control que oscilan entre 0 y 13 reprobados, se han considerado 13 cursos críticos de 28, por encontrarse en la media o superior a esta. Fuente: SITE (2022).

Una vez aplicado el plan de contención con las acciones mencionadas anteriormente, se obtuvo una reducción en el índice promedio de reprobación de 5.75 estudiantes del ciclo AD2021 en comparación con el promedio de 7.13 estudiantes del ciclo AD2020.

La última fase es *actuar*, en consecuencia, de los resultados de fase verificar, se determina continuar con las acciones o estrategias de mejora contempladas anteriormente, sin embargo, se pretende tener un mayor control durante cada ciclo escolar, realizando monitores al inicio, durante y al final de cada semestre. Como producto se obtuvo una lista de estrategias que se definen en la Tabla 3, y tres acciones para el plan de seguimiento de la mejora.

Tabla 3  
*Lista de estrategias por indicador y plan de seguimiento*

<b>Definición de estrategias para controlar los índices de trayectoria escolar</b>			
Plan de seguimiento para la mejora	Índice de abandono escolar	Índice de rezago	Índice de reprobación
<p>a) Cada responsable de academia deberá revisar el historial de los índices relacionados con su bloque y establecer nuevas estrategias o dar seguimiento a las ya planteadas.</p> <p>b) Antes o después de cada periodo de bajas el responsable de academia deberá solicitar un reporte de seguimiento de grupo que contemple el análisis de cada indicador.</p> <p>c) Cada responsable de academia deberá analizar y comparar los indicadores históricos con los obtenidos al final de cada ciclo escolar, justificando la causa del no cumplimiento.</p>	<p><b>Acciones definidas</b></p> <p>1. Organizar la Jornada de inducción y nivelación para los estudiantes de nuevo ingreso al PE de IIS a través de talleres, pláticas informativas y conferencias, para aclarar dudas de la carrera e ir generando convivencia y sentido de pertenencia.</p> <p>2. Organizar la Jornada académica para que los estudiantes participen a través de visitas a empresas, talleres, conferencias, foros, actividades deportivas y culturales, para que se logre mayor sentido de pertenencia.</p> <p><b>Nuevas acciones definidas</b></p> <p>3. Aumentar la divulgación de las convocatorias de becas y motivar a los estudiantes a participar.</p> <p>4. Ofrecer Test de Orientación Vocacional a los aspirantes.</p> <p>5. Según sea el caso, solicitar al consejero estudiantil el apoyo.</p>	<p><b>Acciones definidas</b></p> <p>1. Actualizar el plan de estudios para mejorar su flexibilidad.</p> <p>2. Dar seguimiento a la trayectoria escolar de cada cohorte.</p> <p>3. Mantener la asesoría a estudiantes.</p> <p>4. Mantener la programación de cursos en verano.</p> <p>5. Mantener la tutoría.</p> <p>6. Mantener la flexibilidad de los horarios para estudiantes que laboran.</p> <p>7. Mantener la programación de cursos virtuales o virtuales-presenciales.</p> <p><b>Nueva acción definida</b></p> <p>8. Diseñar un seguimiento personalizado para cada estudiante inscrito.</p> <p>9. Según sea el caso, solicitar al consejero estudiantil el apoyo.</p>	<p><b>Acciones definidas</b></p> <p>1. Mantener la asesoría académica.</p> <p>2. Mantener la asesoría par.</p> <p>3. Mantener la solicitud de reportes de medio término para analizar seguimiento de estudiantes e invitarlos a dar de baja el curso, quienes no cumplan con las competencias mínimas.</p> <p>4. Mantener la solicitud del análisis de los estudiantes rescatables en el logro de las competencias mínimas.</p> <p>5. Mantener la flexibilidad de hacer entrega tardía de actividades, según sea el caso.</p> <p><b>Nueva acción definida</b></p> <p>6. Motivar al estudiante a mejorar su rendimiento, desde la labor docente.</p> <p>7. Atención personalizada de estudiantes en riesgo de reprobación.</p> <p>8. Según sea el caso, solicitar al consejero el apoyo.</p>

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

A partir de los resultados se establece una concordancia con los hallazgos de Rodríguez *et al.* (2021), que analizó estrategias a partir del estado de trayectorias, proponiendo mentorías académicas, tutorías, asesorías, canalización psicológica, comprensión lectora y actualización docente, donde estas estrategias tienen similitud con las establecidas en este documento.

En el estudio de Bravo *et al.* (2020), donde se caracterizó la trayectoria escolar de los estudiantes e identificó el rezago de las cohortes generacionales, encontró un rezago de la facultad de ingeniería de 79.6% superior al encontrado en este estudio con valor de 58.58% promedio para las cohortes bajo estudio, por lo anterior se puede establecer que es necesario identificar comportamientos individuales o de grupo para tomar decisiones académicas pertinentes. Por su parte Rangel (2019), encontró que un 10% de estudiantes cambiaron de carrera, el 39.9% reprobaron asignaturas y más del 20% abandono sus estudios por situaciones económicas, indicadores similares al del presente estudio, por lo que es importante en ambos estudios, establecer un programa de orientación vocacional. Según Téllez *et al.* (2016), menciona cuatro causas de abandono del PE, a decir, que el estudiante trabaja y estudia en un 67%, horarios complicados en un 37.8%, la actitud del maestro en un 33% y problemas familiares y/o personales en un 31.1%. Con respecto a la reprobación, Nieblas *et al.* (2019), menciona que es de vital importancia que dentro de las academias se desarrollen proyectos que permitan conocer el estado actual del desempeño académico de la comunidad estudiantil para identificar las causas que ocasionan un incremento en el índice de reprobación, diseñar planes de acción y realizar cambios en las estrategias didácticas; además, la reprobación es una de las principales causas del rezago en la trayectoria del estudiante. En tal sentido, las estrategias propuestas en este documento deben implementarse de manera integral, vinculando las tradicionales con las nuevas estrategias, y evaluar de manera periódica el estado que guardan los indicadores, para Morales-Cervantes y Urbina-Nájera (2021), es necesario priorizar la atención y recursos dirigidos a solventar las necesidades del estudiantado, desde un programa de tutorías académicas o apoyo financiero en un ambiente presencial, hasta la atención individualizada y empática del personal docente en la enseñanza virtual.

## Conclusiones

Se logró el objetivo planteado, se establecieron estrategias dirigidas a los indicadores de reprobación, rezago y abandono escolar, a partir del análisis de la trayectoria escolar de cohortes generacionales, para mejorar el estado actual de los indicadores, y que en conjunto contribuyen a la mejora de la eficiencia terminal. El impacto de estas estrategias es gradual, de tal forma que los beneficios se reflejaran al finalizar los nueve semestres del plan de estudios del programa educativo, es decir, en el mes de diciembre de cada año.

Respecto a las estrategias y acciones que en este documento se exponen como parte de la mejora continua, es necesario privilegiar la satisfacción del estudiante, que este perciba más que requisitos académicos y servicios que la universidad pone a su disposición, el interés del personal académico y administrativo de la universidad, por apoyarlo a culminar sus estudios profesionales, en un entorno de calidad y competitividad académica del programa educativo.

Finalmente, en este estudio se presenta un análisis de indicadores de trayectoria escolar en un PE de una IES, y se proponen estrategias en función al contexto y condiciones propias del programa y la universidad, por lo que su réplica en otros contextos debe ser tomado con precaución, sin embargo, esta investigación contribuye al estudio empírico del análisis de indicadores educativos, de estrategias para mejora de la trayectoria del estudiante y de apoyo en la toma de decisiones por parte de académicos universitarios e investigadores del tema.

## Referencias

- ANUIES. (2018). Visión y acción 2030 Propuesta de la ANUIES para renovar la educación superior en México. Consultado en mayo del 2022 de <https://bit.ly/3GinJW5>
- Bravo, F., Illescas-Peña, L, y Peña, M. (2020). Trayectoria Académica de Estudiantes Universitarios. *Pódium*, (37), 27-42. <https://doi.org/10.31095/podium.2020.37.3>
- CACEI. (2020). Rúbrica para evaluadores. Consultado en mayo del 2022 de <https://bit.ly/3GmmKnD>
- Gutiérrez, H. (2010). Calidad total y productividad. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigmas. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernández, J. y Vizán, A. (2013). Lean manufacturing, conceptos, técnicas e implantación. Medio ambiente industria y energía. Fundación EOI.
- Morales-Cervantes, J.J., y Urbina-Nájera, A. (2021). Análisis de estrategias gubernamentales e institucionales para la retención de estudiantes universitarios. *Revista Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores [Edición especial]*, Oct. (9). <https://bit.ly/3BnpNsu>
- Nieblas, J., Téllez-García, D., Balderrama, J., y Zazueta-Alvarado, M. (2019). Estrategias para disminuir índice de reprobación en ciencias básicas de Ingeniería Industrial y de Sistemas. En M. Urías, M. Cabrera, y Oruño B. (Ed.), *Indicadores de la calidad educativa* (pp. 45-54). Instituto Tecnológico de Sonora. <https://bit.ly/3wRZPw2>
- PDI. (2020). Plan de Desarrollo Institucional. Ejes rectores. Instituto Tecnológico de Sonora. <https://bit.ly/3IKJ29m>
- PDI. (2024). Plan de Desarrollo Institucional. Ejes rectores. Instituto Tecnológico de Sonora. <https://bit.ly/3LMIsUc>

- Rangel, F. (2019). Trayectoria académica de los estudiantes universitarios. Revista arbitrada del CIEG - Centro de Investigación y Estudios Gerenciales, (38), 215-228. <https://bit.ly/3NTcdCR>
- Rodríguez, I., Pérez, R., y Flores, J. (2021). Estrategias para mejorar la calidad educativa con base en el análisis de la trayectoria académica en el área de ingeniería. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 11(22). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.858>
- SITE. (2022). Sistema Integral de Trayectoria Escolar. Instituto Tecnológico de Sonora. <https://bit.ly/3MQ8FkV>
- Téllez-García, D., Morales-Cervantes, J.J., González, B., Olachea, L. (2016). Motivos de la deserción académica en las materias de Ciencias Básicas del Programa Educativo de Ingeniería Industrial, Campus Empalme. En S. Echeverría, R. Piza, M. González, y B. Orduño (Ed.), Estrategias de atención a la trayectoria escolar (pp. 119-130). Instituto Tecnológico de Sonora. <https://bit.ly/3IKsloX>
- UNISON. (2018). Tipología de Trayectorias Escolares. Dirección de servicios estudiantiles. Universidad de Sonora. [https://dae.unison.mx/trayectorias/TIPOLOGIA\\_TRAYECTORIAS\\_2018.pdf](https://dae.unison.mx/trayectorias/TIPOLOGIA_TRAYECTORIAS_2018.pdf)

# Resumen 1

## Nivel de satisfacción estudiantil en la impartición del laboratorio de química básica

Alberto Verdugo Fuentes  
Olga Haydeé Gómez Ibarra  
Jonathan Rojas Padilla  
Leticia Valenzuela Gómez

### Introducción

Los espacios de laboratorios de docencia constituyen una herramienta complementaria a la enseñanza teórica de la química al acercar al estudiante al contexto real de su futura vida profesional (Wei *et al.*, 2020). El aseguramiento de la calidad académica debe de ser una constante en el quehacer universitario, para favorecer una formación integral y competente de los futuros profesionistas (Montenegro, 2020). El Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) a través de su Sistema Integral de Evaluación Docente (SIED), evalúa de forma periódica la práctica docente de su planta académica, con el fin de emitir recomendaciones generales de mejora en las acciones que favorezcan el desarrollo de sus estudiantes. Sin embargo, existen otros factores relacionados con la satisfacción estudiantil que pudieran interferir negativamente en el desempeño estudiantil. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue realizar un diagnóstico sobre

la percepción de los servicios académicos prestados en la impartición del laboratorio de química básica del Instituto Tecnológico de Sonora.

### Método

El estudio se delimitó a la población de estudiantes que cursaban la asignatura del laboratorio de química básica en la última semana del semestre enero-mayo 2022. De acuerdo con el cálculo del tamaño muestra propuesto por Humante-Ramos *et al.* (2019) se obtuvieron 67 respuestas de 94 participantes. Los integrantes de la academia de química Básica diseñaron un instrumento tipo cuestionario denominado “Evaluación de la satisfacción de los estudiantes del curso de laboratorio de química básica” de diez reactivos. El instrumento colectó la opinión del estudiante sobre la importancia del curso, satisfacción al desempeño docente y servicio del edificio de laboratorios LV-500 del ITSON. El grado de importancia y satisfacción de cada aspecto evaluado se determinó mediante una escala tipo Likert (Echauri *et al.*, 2012). La frecuencia de las respuestas fue analizada por estadística descriptiva.

### Resultados y discusión

Se entrevistaron 67 estudiantes de nueve programas educativos de ingeniería del ITSON. El 56.7% cursó por primera vez el laboratorio de química básica, el 43.3% restante eran alumnos repetidores. Los valores porcentuales de las variables de estudio se muestran en la imagen.

Figura 1

*Resultados de la evaluación de la satisfacción de los estudiantes del curso de laboratorio de química básica.*



Los niveles de importancia que los estudiantes calificaron a aspectos relacionados con la calidad educativa. El desempeño del docente resultó la variable de mayor importancia (85%). El 37.3% de los estudiantes resultó estar “muy satisfecho” con su propio desempeño en el curso. Resultados similares fueron obtenidos por Wei *et al.* (2020). Las variables con frecuencia >80% se correlacionan con una mayor satisfacción al cursar el laboratorio de química básica.

Conclusiones: El estudio indicó que tanto el desempeño docente, la materia y la infraestructura son los aspectos de mayor importancia para el alumno que cursa el laboratorio de Química Básica en ITSON. Sin embargo, se deben considerar otros aspectos para formular estrategias docentes para mantener un equilibrio en la enseñanza de este curso.

## Referencias

Echauri, A., Minami, H., & Sandoval, M. (2012). La Escala de Likert en la evaluación docente: acercamiento a sus características y principios

metodológicos. *Perspectivas docentes*, (50).

Humanante-Ramos, P., Fernandez-Acevedo, J., & Jimenez, C. (2019). Aulas virtuales en contextos universitarios: percepciones de uso por parte de los estudiantes. *Revista Espacios*, 40(02).

Montenegro, J. (2020). La calidad en la docencia universitaria. Una aproximación desde la percepción de los estudiantes. *Educación*, 29(56), 116-145.

Wei, J., Treagust, D. F., Mocerino, M., Vishnumolakala, V. R., Zadnik, M. G., Lucey, A. D., & Lindsay, E. D. (2021). Design and validation of an instrument to measure students' interactions and satisfaction in undergraduate chemistry laboratory classes. *Research in Science Education*, 51(4), 1039-1053.

# Resumen 2

## Evaluación de la satisfacción académica de estudiantes del Laboratorio de Microbiología General

Andrés Francisco Chávez Almanza  
Jonathan Rojas Padilla  
Ernesto Uriel Cantú Soto

La educación tiene como objetivo conocer el grado de eficiencia y eficacia con que se utilizan los recursos para lograr la finalidad descrita (Rangel *et al.*, 2018). Se considera importante encuestar la satisfacción académica de los estudiantes para determinar su percepción durante el proceso de una unidad de aprendizaje (Jiménez *et al.*, 2011). Se espera que al menos el 50% de los estudiantes encuestados se encuentren muy satisfechos desde el desempeño docente hasta la infraestructura institucional. El objetivo fue evaluar la satisfacción de los estudiantes que cursaron el Laboratorio de Microbiología General para determinar la percepción de los factores que intervienen en el desempeño académico. Método. Este estudio se delimitó al total (N=78) de los estudiantes del Programa Educativo de Ingeniero Biotecnólogo que cursaron el Laboratorio de Microbiología General en modalidad presencial en el semestre enero-mayo 2022. Los datos se colectaron mediante una encuesta de 34 reactivos

que estudian la percepción del rendimiento académico en escala tipo Likert (Canto *et al.*, 2020); conformada por dos secciones: i). importancia, con cinco reactivos para determinar el nivel de importancia que los estudiantes le otorgan a la Unidad de Aprendizaje (UA); ii). desempeño, conformada por 29 reactivos para conocer el grado de satisfacción de los estudiantes respecto a aspectos comprendidos en el plan de estudios de la UA. Se solicitó apoyo a los maestros de la Academia de Microbiología para recabar y analizar la información. Debido al tamaño de la población (N), el tamaño de muestra (n=57) fue determinado por el método por conveniencia. Las frecuencias de las respuestas fueron analizadas por estadística descriptiva, usando el software Excel. Resultados. El 73% de los estudiantes respondieron la encuesta, en la sección de importancia >50% de ellos consideraron importante los cuatro reactivos (figura 1).

Figura 1  
Nivel de importancia por aspecto con base en la Encuesta de Evaluación sobre la Satisfacción de Estudiantes

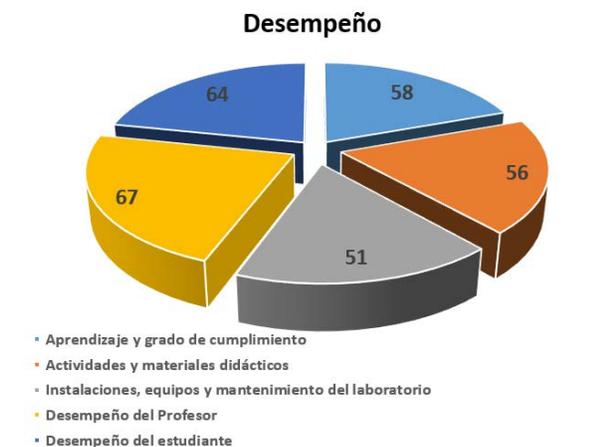


Nota: Elaboración propia.

En la sección de desempeño se obtuvo el nivel de satisfacción en >50% de los en-

cuestados. Solo se contabilizaron las respuestas de las opciones de “muy satisfecho” con relación al número de respuestas generadas por los estudiantes encuestados (Figura 2). El desempeño del profesor fue el aspecto mejor evaluado (67%) seguido del desempeño de los alumnos (64%), similar a la investigación realizada en la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) por Jiménez *et al.* (2011), esto se debe a la capacitación constante de los profesores y la estandarización de las metodologías de enseñanza y aprendizaje, mismas que el alumno percibe al concluir la UA y confirma la calidad de la misma.

Figura 2  
Niveles de desempeño con base en la Encuesta de Evaluación sobre la Satisfacción de Estudiantes



Nota: Elaboración propia.

### Conclusiones

Más de la mitad de los estudiantes consideraron importante los aspectos evaluados y tienen altos niveles de satisfacción con los servicios proporcionados por la academia de microbiología general, específicamente por la materia de Laboratorio de Microbio-

logía General, ya que responden a sus necesidades.

### Referencias

- Canto de Gante, Á. G., Sosa González, W. E., Bautista Ortega, J., Escobar Castillo, J., & Santillán Fernández, A. (2020). Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social. *Revista de la alta tecnología y sociedad*, 12(1).
- Jiménez González, A., Terriquez Carrillo, B., & Robles Zepeda, F. J. (2011). Evaluación de la satisfacción académica de los estudiantes de la Universidad Autónoma de Nayarit. CONACYT.
- Rangel, M. D. J. H., Olivares, N. R., Gómez, D. D. B., & Hernández, M. L. M. (2018). Calidad de la educación a distancia en México: Un estudio sobre procesos de acreditación. *Revista Venezolana de Gerencia*, (1), 256-277

Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos

Se terminó de editar en Ciudad Obregón, Sonora, el 30 de diciembre de 2022,  
Por la Oficina de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Sonora,  
en Cd. Obregón, Sonora, México.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio  
[www.itson.mx](http://www.itson.mx)  
en la sección de Publicaciones.

## Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos

La presente obra intitulada Investigación en los cuerpos académicos e Indicadores educativos, tiene como objetivo divulgar los trabajos desarrollados en *Cuerpos Académicos* de nuestra institución. Estas contribuciones han sido agrupadas en dos secciones: *Investigación en los cuerpos académicos*, la cual contiene ocho trabajos relacionados a temas biotecnológicos, ingenieriles, ergonómicos, matemáticos, agronómicos, docentes y de bioprocesos, entre otros; e *Indicadores educativos*, integrada por tres estudios enfocados en índices de aprovechamiento académico de nuestros y nuestras estudiantes, tanto en clases teóricas como en los laboratorios.

