

Año 13, Número 3, 2026

# REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria

**XXXIX**

ISSN: 2007 - 7750

**Manejo integrado de diabrotica (*Diabrotica spp*) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)**

**Análisis comparativo de realidad virtual y mixta para montaje técnico de paneles solares**

**Diseño de herramientas para el maquinado de carretes de acero en una empresa de Salvatierra**

**Diseño y desarrollo de aplicación móvil con realidad aumentada para educación ambiental**



[comiterevista@utleon.edu.mx](mailto:comiterevista@utleon.edu.mx)

[reaxion.utleon.edu.mx](http://reaxion.utleon.edu.mx)



**UTL**

**LEÓN**

## Directorio

---

**Luis Ignacio Sánchez Gómez**  
Secretario de Educación de  
Guanajuato

**José Christian Padilla Navarro**  
Rector de la Universidad Tecnológica  
de León

**José Ernesto López Juárez**  
Secretario Académico

---

**Martha Betzabé Murillo  
Hernández**

Directora de Desarrollo Académico y  
Docente

**José de Jesús Mendoza Rivas**  
Director de Económico Administrativo

**Eduardo Pérez Gutiérrez**  
Director de Tecnologías Emergentes  
Industriales e Informáticas

**Ma. de Jesús Armenta Ortiz**  
Subdirectora de Económico  
Administrativo

**Jorge Andrés Ortega Contreras**  
Subdirector de la Unidad Académica  
del Sureste

**Héctor Mendiola Gómez**  
Subdirector de Tecnologías

**Adolfo Israel Lomelí García**  
Subdirector de Industrial Sustentable

## Comité Editorial

---

**Liliana González Arredondo**  
Directora Editorial

**Pedro Andrés Meza Torres**  
Corrección editorial y aseguramiento de  
calidad

**Daniel Israel Rodríguez Gante**  
Diseño web

**Laura Elizabeth Martínez Olaz**  
Diseño gráfico y editorial

**Jorge Andrés Ortega Contreras**  
Representante de la Unidad Académica del  
Sureste

**Ma. Guadalupe Serrano Torres**  
Representante de Área de la Dirección  
Económico-Administrativa

**Anahí Torres Tinoco**  
Representante de Área de la Dirección de  
Tecnologías Emergentes Industriales e  
Informáticas carreras Tecnologías de la  
información

**Alan Daniel Villalobos Lara**  
Representante de Área de la Dirección de  
Tecnologías Emergentes Industriales e  
Informáticas carrera de Industrial Sustentable

**Miguel Ángel Gil Ríos.**  
Representante de Área de la Dirección de  
Tecnologías Emergentes Industriales e  
Informáticas carreras de Tecnologías de la  
Información

**Roberto Gutiérrez Guerra**  
Representante de Área de la Dirección de  
Tecnologías Emergentes Industriales e  
Informáticas carrera de Química



# Carta editorial

## Reaxión Año 13, número 3

Con gusto entregamos a la comunidad lectora la trigésima novena edición de la revista. Este número contiene una aportación que se enmarca en el eje de conocimiento de la biotecnología y las ciencias agropecuarias y tres artículos del área de las ingenierías.

Para México, el maíz es un cereal necesario y prácticamente imprescindible en materia de alimentación y características culturales, y de su cultivo y productividad depende la seguridad alimentaria de nuestra sociedad. De ahí la relevancia de las aportaciones contenidas en la colaboración titulada **Manejo integrado de diabrotíca (*Diabrotica spp.*) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)**, donde las personas autoras evaluaron en un campo experimental el nivel de eficacia de los métodos químico, biológico, biorracional y etológico para el control de plagas, y demostraron que el uso de hongos entomopatógenos constituye una alternativa sustentable, que se recomienda combinar con otras estrategias para el manejo integral de la problemática.

Por lo que se refiere al eje de las ingenierías, y en el contexto del surgimiento y desarrollo de las tecnologías inmersivas, actualmente la realidad física es susceptible de coexistir con la virtual (un espacio simulado en un entorno digital) y la mixta (que permite interactuar con los objetos y el entorno en tiempo real), el equipo autor de **Análisis comparativo de realidad virtual y mixta para montaje técnico de paneles solares** ha aplicado estas herramientas envolventes al fortalecimiento de esta competencia laboral, e identificó que la simulación por computadora refuerza la comprensión general y la preparación conceptual previa a prácticas físicas, en tanto que la híbrida ayuda a un mayor control intuitivo, percepción de seguridad y contextualización en el entorno real, y se concluye que una combinación de ambas puede ser usada como estrategia de enseñanza y aprendizaje.

Por otra parte, considerando que en el ramo de la industria metal-mecánica se requiere de proveedores de equipos, maquinaria e implementos para desarrollar sus actividades, las personas autoras de **Diseño de herramientas para el maquinado de carretes de acero en una empresa de Salvatierra** presentan un caso específico en el que, con ingenio, y apoyados con programas de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM), crearon una solución práctica y efectiva ante el problema de una empresa dedicada a los cables automotrices y de electrodomésticos, cuyos carretes de acero se encontraban deformados, desgastados o desbalanceados, lo que afectaba al proceso de manufactura; la propuesta que aplicaron fue el diseño y la fabricación de dispositivos de sujeción y antivibratorios para trabajar los carretes en el torno.

Siguiendo en la misma línea de las ingenierías, se observa que el advenimiento de la realidad aumentada (tecnología que superpone información digital —imágenes, sonidos, texto, videos, animaciones, datos en tiempo real, etc.— sobre el mundo real, lo que mejora la percepción del entorno físico) ha impactado en el crecimiento tecnológico en diversos ámbitos, y el artículo **Diseño y desarrollo de aplicación móvil con realidad aumentada para educación ambiental** muestra su utilización a favor del aprendizaje en temas de cuidado de la biodiversidad, específicamente en centros de conservación de iguanas, tortugas y aves en la ciudad de Manzanillo. Se espera que la experiencia interactiva generada mediante dicho software contribuya a mejorar la conciencia y compromiso con los ecosistemas, tanto en habitantes locales como en turistas que visiten estos santuarios.

Finalmente, expresamos nuestra gratitud tanto a las personas autoras, como a quienes realizaron los dictámenes técnicos de las propuestas, así como al equipo de gestión editorial.

Con total seguridad es posible afirmar que las metodologías y hallazgos que integran esta edición contribuyen a la ampliación del conocimiento en la comunidad académica y lectora.

**A t e n t a m e n t e.**

**Comité Editorial de Reaxión**

# Índice

**7.** Manejo integrado de diabrótica  
(*Diabrotica spp*) en el cultivo de maíz  
(*Zea mays L.*)

**18.** Análisis comparativo de realidad virtual  
y mixta para montaje técnico de paneles  
solares

**25.** Diseño de herramientas para el  
maquinado de carretes de acero en una  
empresa de Salvatierra

**40.** Diseño y desarrollo de aplicación móvil  
con realidad aumentada para educación  
ambiental

---

# REA>XION

ISSN: 2007-7750

# Manejo integrado de diabrótica (*Diabrotica* spp.) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

*Integrated management of diabrotica (Diabrotica spp.) in maize (Zea mays L.) cultivation*

**Marcia Maribel Martínez-Scott, Luis Enrique Carrillo Rodríguez y Ramón Medina Plaza / Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra**

## Resumen

El cultivo de maíz posee un valor histórico, cultural y nutricional en México; sin embargo, su producción se ve limitada por la presencia de plagas como la *Diabrotica* spp., responsable de considerables pérdidas económicas. En esta investigación se evaluó la eficacia de cuatro métodos de control (químico, biológico, biorracional y etológico) en el manejo de diabrótica. Para el control biológico se realizó un bioensayo con hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria fumosoroseus*). En campo, se estableció un experimento de bloques completos al azar con arreglo en franjas, considerando cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). Los resultados mostraron que los tratamientos químico y biológico presentaron los mayores niveles de reducción poblacional. Asimismo, se identificaron tres especies de diabrótica en la región de Salvatierra: *D. balteata*, *D. longicornis* y *D. virgifera zea*.

**Palabras clave:** manejo integrado de plagas (MIP), entomopatógenos, sustentabilidad.

## Abstract

Maize cultivation has historical, cultural, and nutritional significance in Mexico; however, its production is constrained by the presence of pests such as *Diabrotica* spp., which is responsible for considerable economic losses. This research evaluated the effectiveness of four control methods (chemical, biological, biorational, and ethological) for the management of *Diabrotica*. For biological control, a bioassay was conducted using entomopathogenic fungi (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Isaria fumosoroseus*). Under field conditions, a randomized complete block experiment with a strip-plot arrangement was established, including five treatments and four replications. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ( $P < 0.05$ ). The results showed that chemical and biological treatments achieved the highest levels of population reduction. In addition, three *Diabrotica* species were identified in the Salvatierra region: *D. balteata*, *D. longicornis*, and *D. virgifera zea*.

**Keywords:** Integrated pest management (IPM), Entomopathogens, Sustainability.

## Introducción

El maíz uno de los principales granos en la dieta de las y los mexicanos, su importancia radica en que el consumo per cápita es de 196.4 kg. Además, México es el sexto productor a nivel nacional, con un total de 26.63 millones de toneladas, de las cuales Guanajuato contribuye con una producción de 1.76 millones de toneladas<sup>1</sup>, siendo fundamental para la economía agrícola del estado. Sin embargo, su producción enfrenta diversas amenazas, entre las que destaca el complejo de plagas del género *Diabrotica*. Este crisomélido puede causar pérdidas significativas en el rendimiento del cultivo al atacar tanto raíces, follaje y estigmas de las plantas<sup>2</sup>.

Las especies de diabrotica más relevantes en Guanajuato incluyen *Diabrotica virgifera virgifera* y *Diabrotica balteata*, cuyos ciclos de vida están estrechamente ligados a la siembra continua de maíz. Sus larvas se alimentan de las raíces, debilitando la estabilidad de la planta y reduciendo su capacidad de absorción de agua y nutrientes, mientras que los adultos se alimentan de hojas, polen, estigmas y sedas, afectando la polinización<sup>3</sup>. Por lo que el manejo integrado de plagas (MIP) representa una estrategia clave para reducir el impacto de diabrotica en los cultivos de maíz de Guanajuato, ya que este enfoque combina diferentes métodos de control, minimizando el uso excesivo de insecticidas y promoviendo prácticas sustentables<sup>4</sup>.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar diferentes estrategias de manejo integrado de diabrotica (*Diabrotica* spp.) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), incluyendo el control químico, biológico, biorracional y etológico, con el propósito de reducir los daños causados por esta plaga, disminuir el uso excesivo de insecticidas y mejorar la productividad del cultivo dentro de un enfoque de sustentabilidad agrícola.

### Objetivos específicos

- Identificar las especies de *Diabrotica* spp. presentes en el cultivo de maíz.
- Determinar los índices poblacionales de *Diabrotica* spp. en cada control establecido.
- Identificar el control de mayor eficacia que mantenga las densidades poblacionales de la *Diabrotica* spp. a niveles que no causen daños económicos en el cultivo de maíz.

### Hipótesis:

Ho: No existe diferencia entre los tratamientos para el control de *Diabrotica* spp.

Ha: Al menos uno de los tratamientos será eficiente en el control de *Diabrotica* spp.

## Planteamiento del problema

Los principales problemas del cultivo de maíz están asociados con la baja productividad, los aspectos fitosanitarios, los altos costos de producción y la competencia ejercida por el maíz subsidiado proveniente de Estados Unidos.

Dentro de los problemas fitosanitarios se encuentran las malezas, enfermedades e insectos plaga, estos últimos destacan debido al daño que ocasionan y se estima que provocan pérdidas en rendimiento de un 30-50 %, las cuales ocurren desde el establecimiento del cultivo hasta el almacenamiento del grano. La incidencia de los insectos plaga y el daño que ocasionan en los cultivos, se da por diversos factores, tales como las condiciones ambientales, fenología del cultivo y hábitos del insecto plaga.

La diabrótica es una de las plagas más dañinas que se presentan en el cultivo de maíz en el mundo. El daño ocasionado por *Diabrotica* spp., particularmente por *Diabrotica virgifera*, es significativo en los cultivos de maíz, ya que sus larvas se alimentan de las raíces, causando reducción en la absorción de agua y nutrientes, debilitamiento de la planta y predisposición al acame. Este daño afecta el desarrollo del cultivo y puede generar considerables pérdidas de rendimiento<sup>4</sup>. Además, los adultos, al alimentarse del polen y de los estigmas, afectan la polinización y reducen la formación de granos en la mazorca<sup>5</sup>.

## Método de trabajo

El proyecto se estableció en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra (ITESS), durante el ciclo primavera-verano del 2024. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con arreglo en franjas<sup>6</sup>. Se establecieron cinco tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, tomando diez plantas por cada unidad experimental. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de la prueba de Tukey  $p > 0.05$ . El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el software Statistical Analysis System (SAS).

**Descripción de los tratamientos.** Los microorganismos utilizados en esta investigación pertenecen a la colección de hongos del Tecnológico Superior de Salvatierra.

T1 = Control químico (Clorpirifos, Cipermetrina y Malathión 1000e; aplicación alternada de con una dosis de 25 ml/15 L agua, esto para no crear resistencia de la plaga).

T2 = *Beauveria bassiana* (HBB001), *Metarhizium anisopliae* (HMA003), *Isaria fumosoroseus* (HIF007)  $1 \times 10^{12}$  conidias  $\text{mL}^{-1}$  + *Trichoderma harzianum* (HTH028)  $1 \times 10^{12}$ .

T3 = Extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) 100 ml/ 15 L agua + Extracto de trompeta del diablo (*Datura metel*) 100 ml/ 15 L de agua, + 3 cucharadas de aceite vegetal + 5 g de jabón en polvo.

T4 = Control etológico: trampas amarillas, azules y verdes.

T5 = Testigo absoluto.

### Preparación de suelo y establecimiento del cultivo.

Se realizó un subsuelo y dos pasos de rastra, levantamiento de surcos a distancia de 75 cm. de Se utilizó el híbrido DK-2037 de la empresa Dekalb, se establecieron 30 surcos de 25 m de largo con una densidad de plantación de 67,000 plantas por hectárea y una distancia entre planta y planta de 20 cm.

**Manejo agronómico.** Se realizaron deshierbes manuales y aporque o escarda, también se estableció un sistema de riego por goteo. Para la nutrición vegetal se aplicaron 180 kg de nitrógeno (N), 100 de fósforo (P) y 80 de potasio (K), en la siembra se aplicó el total de P y la mitad de N y K, los restantes se aplicaron 20 días después de la siembra. También, se aplicó 1 L/ha de Fructi K (mezcla de zinc Zn, boro B y potasio K) y 1 L de Maxi-Grow (micronutrientes).

### Reproducción del inóculo.

Los hongos entomopatógenos utilizados en esta investigación se recolectaron de un estudio previo. El aislamiento y purificación de los hongos se realizó en cámara de flujo laminar por transferencia directa de conidios y/o micelio a cajas Petri, conteniendo medio nutritivo Papa Dextrosa Agar (PDA) enriquecido con 50 g de ortópteros/L, y 100 mg de estreptomycin/L para su esporulación. Después de 10 días se procedió a raspar el micelio con un asa bacteriológica depositando las esporas y micelio en un matraz con agua destilada estéril y ajustado la concentración a  $1 \times 10^{12}$  conidios  $\text{mL}^{-1}$ .

Los extractos de gobernadora y trompetilla del diablo se extrajeron por el método de destilación de Soxhlet<sup>6,7,8</sup>.

### Reidentificación de los aislados.

La reidentificación de insectos colonizados, obtenidos en campo, se realizó tomando una muestra del insecto esporulado y transfiriendo al medio de cultivo PDA, el cual se dejó incubando a una temperatura de  $27 \pm 1$  °C. Las colonias fueron purificadas en cultivos monospóricos y las estructuras aisladas fueron nuevamente observadas en un microscopio con contraste de fases, para determinar las características morfológicas.

### Bioensayos para determinar virulencia y patogenicidad de los aislados.

En cajas Petri, conteniendo papel filtro, se colocaron cinco larvas de *Diabrotica* spp, las cuales fueron asperjadas con cada solución correspondiente, tomando como referencia 10 individuos por especie de hongos entomopatógenos (HE) y tres repeticiones para cada concentración de la suspensión conidial. Posteriormente se incubaron a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C durante 10 días; cada 24 horas se observó el comportamiento de los insectos y la aparición de signos de la enfermedad, también se registró el tiempo de muerte. Se evaluó el porcentaje de muerte, la eficiencia de las dosis y el período de residualidad *post mortem* de las larvas. La mortalidad se cuantificó diariamente por un período de diez días.

### Identificación de especies de diabrotica.

La identificación de insectos se realizó con base en estudios morfológicos. Esta actividad fue realizada a través de la observación microscópica y utilización de claves, así como la comparación con los ejemplares que fueron recolectados en el transcurso de los monitoreos. Las fotografías fueron tomadas con un microscopio estereoscópico digital con pantalla LCD, capacidad de 1-1000X y enfoque manual.

### Monitoreos de insectos.

Se realizaron monitoreos de *Diabrotica* previos y posteriores a la aplicación para determinar la densidad de población. Además de identificar otras plagas presentes en el cultivo.

### Variables a evaluar.

Se evaluó altura de la planta, número de hojas, peso de mazorca, número de hileras y granos por mazorca, rendimiento. Además del número de diabroticas vivas, muertas, melanizadas o colonizadas por unidad experimental.

## Resultados

### Especies de diabrotica identificadas.

Se identificaron tres especies: *Diabrotica balteata* LeConte, *Diabrotica virgifera zea* Krysan & Smith y *Diabrotica longicornis* Say.

*Diabrotica balteata*. Los huevecillos son de forma alargada, midiendo 0.39 mm de longitud y 0.19 mm de ancho. Las larvas recién emergidas presentaron un color blanquizco y cambiaron su coloración con el transcurso del tiempo. El adulto posee antenas de color amarillo oscuro, segmentos 2 y 3 pequeños, el 3 ligeramente más largo que los anteriores, cabeza de color café rojizo, lisa. Su cuerpo es de forma oval, los extremos de los élitros cubren el último segmento abdominal. La coloración de los adultos recién emergidos es amarillenta, cambiando a verde brillante, con cuatro manchas amarillas y transversales en cada élitro (Figura 1a).

*Diabrotica longicornis* Say. La cabeza es negra y el cuerpo alargado y pequeño (de 5-7 mm de longitud), coloración amarilla con manchas negras en los élitros, antenas largas y filiformes, patas adaptadas para la movilidad entre hojas y tallos (Figura 1b). Este insecto llegó a alimentarse de los estigmas verdes y el polen, lo que suele traer una baja polinización y como consecuencia poca formación de grano. Sin embargo, esta especie emigró al cambiar el color de los estigmas del jilote (de rubio a rojizo).

*Diabrotica virgifera zea* Krysan & Smith. Élitros de color verde, con dos franjas de color amarillo de bordes difusos a lo largo del élitro, antenas largas con más de 8 segmentos (Figura 1c). También se identificó el escarabajo de las cuatro manchas (*Collops quadrimaculatus*), que afecta también a los granos de polen y estigmas (Figura 1d).

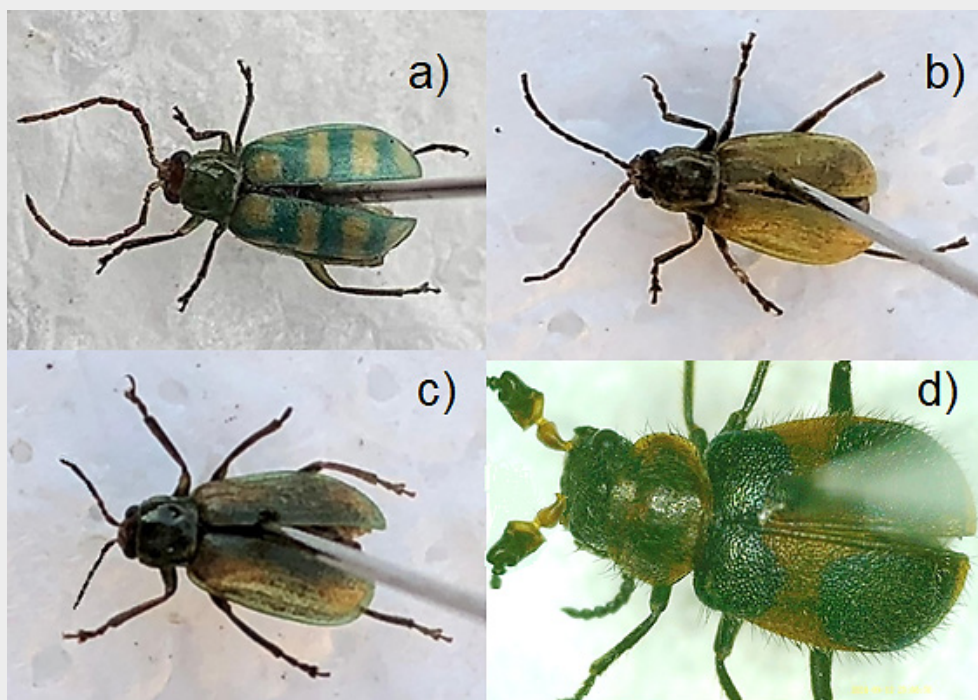


Figura 1. a) *Diabrotica balteata*, b) *Diabrotica longicornis*, c) *Diabrotica virgifera virgifera zea* y d) *Collops quadrimaculatus*. Fuente: elaboración propia

## Resultados del bioensayo

De acuerdo con los resultados del bioensayo, la inoculación de los hongos entomopatógenos mostró que el *Beauveria bassiana* fue el que colonizó la mayor parte de los insectos, seguido por *Metarhizium anisopliae*, y en último lugar *Isaria fumosoroseus*. En el siguiente gráfico se observa el porcentaje de diabróticas colonizadas y melanizadas por cada hongo entomopatógeno, en ellas se muestra la mortandad de diabróticas. El testigo no presentó ningún cambio (todos los insectos sobrevivieron hasta los 10 días).

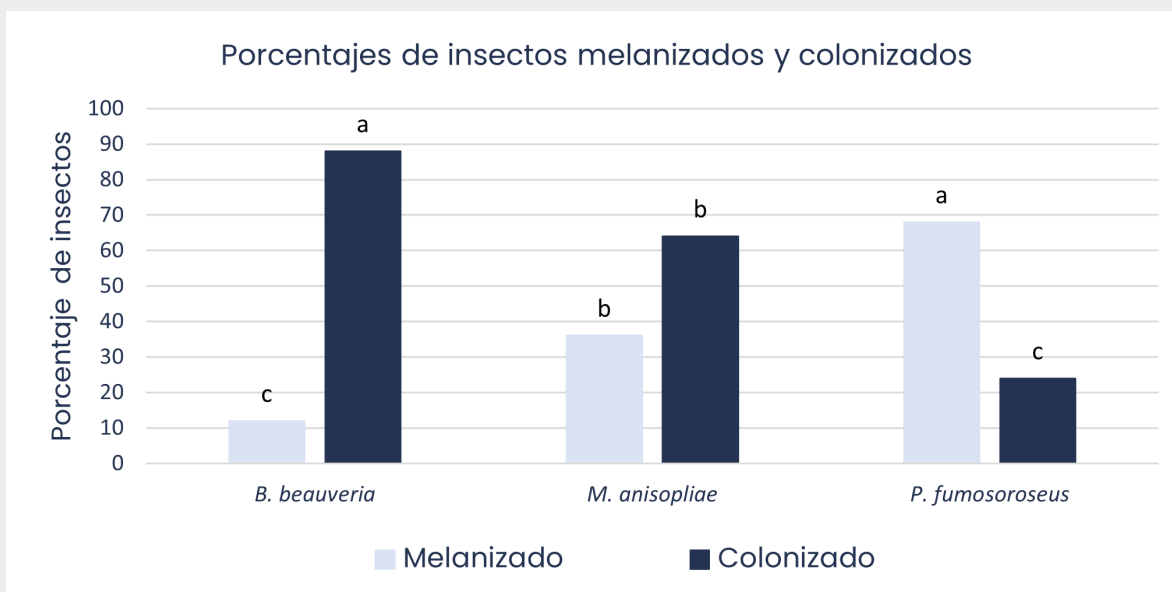


Figura 2. Porcentajes de diabróticas colonizadas y melanizadas *in vitro*. Fuente: elaboración propia

En la Figura 3 se observan los insectos colonizados durante el bioensayo, mostrando que el hongo que presentó mayor esporulación y colonización de las diabróticas fue *Beauveria bassiana*, sin embargo, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria fumosoroseus* le siguieron con una mediana y baja colonización a los 14 días después de la inoculación.



Figura 3. Inoculación de insectos con hongos entomopatógenos *in vitro*; a) *Beauveria bassiana*, b) *Metarhizium anisopliae* y c) *Isaria fumosoroseus*. Fuente: elaboración propia

## Resultados de campo

Se realizaron ocho aplicaciones de los tratamientos en campo, alternando los ingredientes químicos en el tratamiento correspondiente. El tratamiento químico con T1 = Malathión® 1000 mostró el mayor control en diabroticas, durante la sexta-octava aplicación. El tratamiento biológico no hizo efecto inmediato debido a que los hongos entomopatógenos requirieron de 7-10 días para producir su efecto sobre los insectos, sin embargo, se observó que a partir de la tercera a la octava aplicación el T2 ejerció un control eficiente en adultos y larvas de diabrotica, así como de otras plagas presentes en el cultivo (mosquita blanca, trips y gusano cogollero), pero no fue eficiente en huevecillos de diabrotica. En la Figura 4 se observa el comportamiento de las ocho aplicaciones en campo.

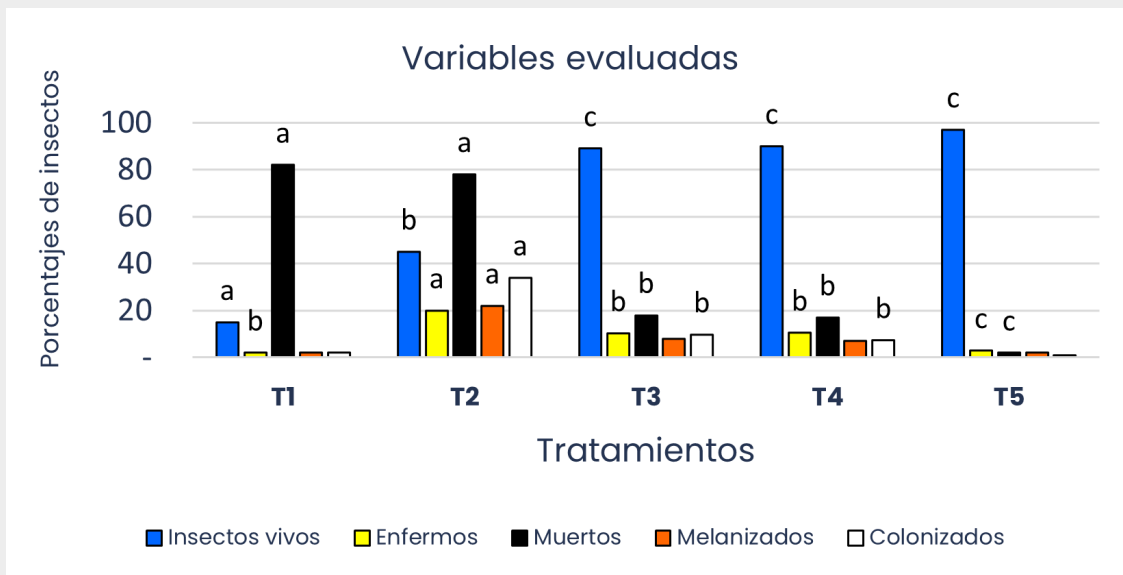


Figura 4. Porcentajes de insectos vivos, muertos, melanizados y colonizados de diabrotica en campo. Fuente: elaboración propia

Nota: letras iguales en cada tratamiento indican que no existen diferencias estadísticas a una  $p < 0.05$ .

Los resultados indicaron que los insectos presentes en las unidades experimentales correspondientes a los tratamientos químico y biológico se desplazaron a lo largo del campo experimental como una estrategia de supervivencia. Este comportamiento se evidenció durante las actividades de muestreo, ya que se registraron individuos enfermos, melanizados, colonizados y muertos en unidades experimentales donde no se esperaba la manifestación de este tipo de respuesta.

## Identificación de insectos con signos de melanización y colonización recolectados en condiciones de campo

Aunque los hongos entomopatógenos utilizados en esta investigación se aplicaron en forma de mezcla, en los especímenes recolectados se observó que *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, presentaron los mayores niveles de colonización sobre *Diabrotica* spp. En contraste, *Isaria fumosoroseus* registró el menor porcentaje de colonización y el mayor de melanización. Solo se obtuvieron 3 insectos colonizados con *Isaria* en cada repetición.

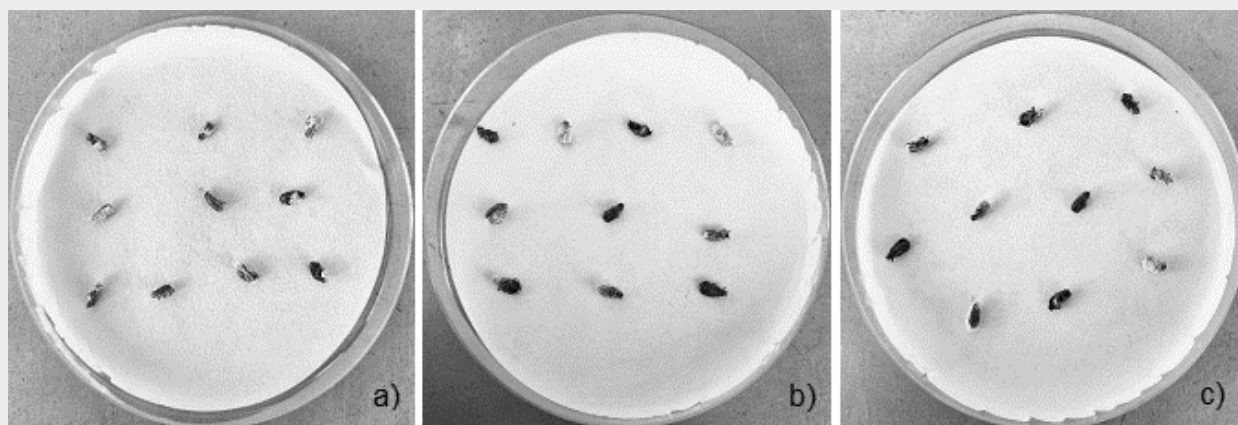


Figura 5. Diabroticas colonizadas y melanizadas con a) *Beauveria bassiana*, b) *Metarhizium anisopliae* y c) *Isaria fumosoroseus*. Fuente: elaboración propia

En la Figura 6 se observa una diabrotica rodeada del micelio de *Beauveria bassiana*, que posteriormente esporuló en presencia de humedad inducida y temperatura ambiental de  $25 \pm 1$  °C.



Figura 6. Colonización de *Diabrotica* spp. con *Beauveria bassiana*. Fuente: elaboración propia

La implementación de cada tratamiento sobre el desarrollo del maíz exhibió respuestas similares con respecto a las variables evaluadas de altura de planta, número de hojas, número de hileras/mazorca, granos/hilera, en todas ellas no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos (Figura 7). No obstante, para peso de granos por mazorca, el tratamiento T1 = Químico fue superior con un peso medio de 190 g/mazorca, seguido del tratamiento T2 = Biológico con 180 g, mientras que el T5 = Testigo fue el de menor peso, con 137 g, a una  $p < 0.05$ . Con respecto a los rendimientos totales, se determinó que el mayor rendimiento se presentó en el tratamiento químico = T1, seguido del T2 = Control biológico. La estimación del rendimiento total de maíz fue para el tratamiento químico con 11.2 toneladas por hectárea, seguido del control biológico con 9.97 t/ha, el biorracional 8.5 t/ha, el etológico 8.1 y el testigo 5.4 t/ha.

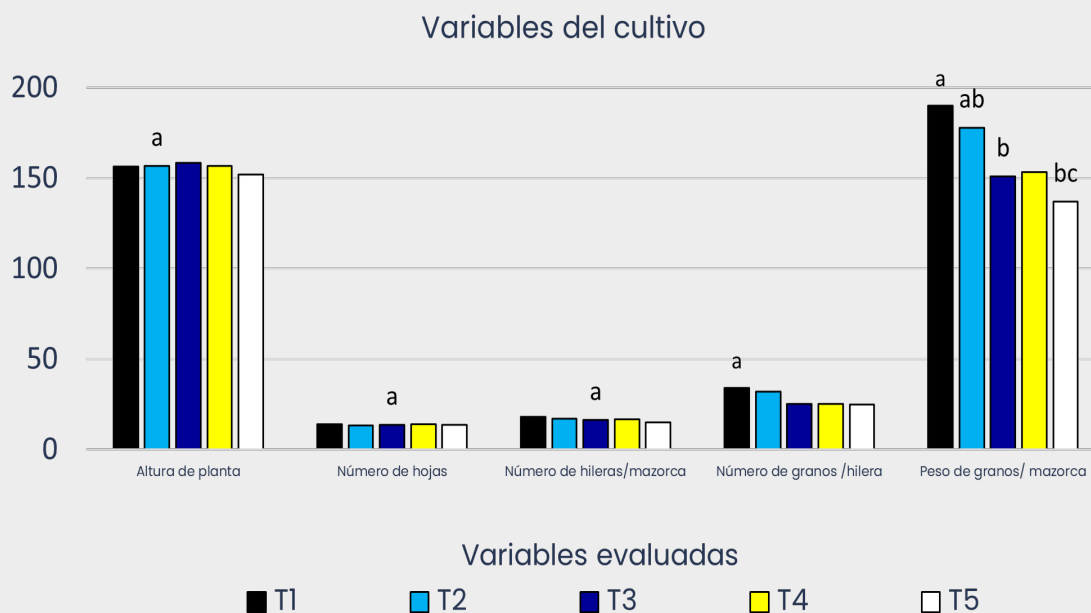


Figura 7. Comparación de variables fenológicas entre los diferentes tratamientos evaluados para el control de diabrotica en maíz. Fuente: elaboración propia

Nota: letras iguales indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre variables y/o tratamientos a una  $p < 0.05$ .

## Discusión

La diabrotica es una de las plagas que afecta severamente al cultivo de maíz, siendo fundamental reducir las pérdidas económicas y el impacto ambiental generado por el uso excesivo de insecticidas. En este tenor, el manejo integrado de plagas combina estrategias biológicas, culturales, químicas y genéticas para mantener las poblaciones de la plaga por debajo del umbral de daño económico<sup>9</sup>.

En esta investigación se determinó que los dos tratamientos que sobresalieron en la disminución de las poblaciones de *Diabrotica* spp, fueron el control químico y el biológico. Este último fue clave debido a que los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* mostraron eficacia en la reducción de adultos y larvas en el suelo. Además, el uso de enemigos naturales, como *Chrisoperla carnea* (depredador) y avispas parasitoides (trichogrammas y braconides), contribuyó al control de la plaga, sin afectar negativamente el ecosistema. El tratamiento con productos biorracionales únicamente provocó el ahuyentamiento temporal de la plaga durante su aspersión sobre el follaje de las plantas, lo que indica que su efecto se limitó a una acción repelente asociada al olor y/o a la aplicación del producto. No obstante, se observó que, transcurridos aproximadamente tres días, los insectos regresaron a sus respectivas unidades experimentales. Por otro lado, las trampas monocromáticas capturaron diversas cantidades de insectos, sin embargo, el porcentaje de crisomélidos (diabroticas) fue muy bajo (9.8 %).

Aun cuando el control químico sigue siendo una herramienta importante, su aplicación debe ser racional para evitar resistencia y daños colaterales, por ello debe alternarse con productos de origen orgánico o vegetal, como productos biorracionales. Investigaciones recientes sugieren que la aplicación dirigida de insecticidas en momentos específicos del ciclo de vida de *Diabrotica* mejora la eficacia y minimiza el impacto ambiental<sup>10</sup>.

Una de las estrategias que no fueron evaluadas, pero que es necesaria, es el uso de materiales resistentes a *Diabrotica*, como el maíz Bt. Los casos de resistencia de plagas a las proteínas cristalinas Bt (Cry) producidas por cultivos transgénicos aumentaron de 3 en 2005 a 16 en 2016. No obstante, la aparición de resistencia en poblaciones de *Diabrotica* a insecticidas químicos y a la toxina Cry del maíz Bt ha generado preocupación sobre su sostenibilidad a largo plazo. Para mitigar este problema, se recomienda la implementación de refugios con maíz no Bt, lo que retrasa la evolución de resistencia en la plaga, así como la rotación de cultivos y el uso de todas las herramientas que se utilizan en el manejo integrado de plagas, ya que todas estas acciones interrumpen el ciclo de vida de la *Diabrotica* spp. y reducen la densidad poblacional de larvas en el suelo<sup>11</sup>.

## Conclusiones

El manejo integrado de *Diabrotica* spp. requiere un enfoque multifacético que combine estrategias complementarias para garantizar su eficacia a largo plazo. Si bien el control químico continúa siendo una de las alternativas más rápidas y efectivas para la reducción inmediata de las poblaciones, el control biológico mediante hongos entomopatógenos desempeña un papel fundamental en el manejo sustentable de esta plaga. Asimismo, la integración de prácticas culturales, biológicas, biorracionales y etológicas resulta esencial para disminuir la dependencia del uso de insecticidas, prevenir el desarrollo de resistencia en las poblaciones de la plaga y minimizar los impactos ambientales. Estas estrategias permiten mantener las densidades poblacionales de diabrotica en niveles por debajo del umbral de daño económico, reduciendo las pérdidas en el cultivo de maíz y contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola.

## Referencias

- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. [En línea]. 2023. [Fecha de consulta: 19 de febrero de 2025]. Disponible en [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- GYERAJ, András; Szalal, Márk; Pálincás, Zoltán; Edwards, Charles Richard and Kiss, Jozsef. 2022. Effects of adult western corn rootworm (*Diabrotica virgifera* LeConte, Coleoptera: Chrysomelidae) silk feeding on yield parameters of sweet maize. *Crop Protection* [En línea]. Vol. 140(6). October 2020. [Fecha de consulta: 19 de febrero de 2025]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/345950759\\_Effects\\_of\\_adult\\_western\\_corn\\_rootworm\\_Diabrotica\\_virgifera\\_virgifera\\_LeConte\\_Coleoptera\\_Chrysomelidae\\_silk\\_feeding\\_on\\_yield\\_parameters\\_of\\_sweet\\_maize](https://www.researchgate.net/publication/345950759_Effects_of_adult_western_corn_rootworm_Diabrotica_virgifera_virgifera_LeConte_Coleoptera_Chrysomelidae_silk_feeding_on_yield_parameters_of_sweet_maize) ISSN: 1873-6904.
- MOTA, Thiago Alexandre; Fernandes, Marcos Gino; Soares Gomes, Elias; Neves, Eduardo; Fera de Azevedo, Pedro; Pedrazoli, Murilo; *et al.* Spatial Distribution for Corn Root Worm *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) on Maize Crops. *Research, Society and Development*. [En línea]. Vol. 14, No. 11. 2025. [Fecha de consulta: 14 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.rsd-journal.org/rsd/article/view/50078> ISSN: 2525-3409.
- DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL. GOBIERNO DE MÉXICO. *Diabrotica virgifera zea* Krysan & Smith (Insecta: Coleoptera: Chrysomelidae). Gusano alfilerillo. Ficha Técnica. [En línea]. 2020. [Fecha de consulta: 3 de marzo de 2025]. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/633033/Gusano\\_alfilerillo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/633033/Gusano_alfilerillo.pdf)
- GYERAJ, András; Szalai, Márk; Pálincás, Zoltán; Edwards, Charles Richard and Kiss, József. Effects of adult western corn rootworm (*Diabrotica virgifera* LeConte, Coleoptera: Chrysomelidae) silk feeding on yield parameters of sweet maize. *Crop Protection*. [En línea]. Vol. 140(6). Octubre 2020. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/345950759\\_Effects\\_of\\_adult\\_western\\_corn\\_rootworm\\_Diabrotica\\_virgifera\\_virgifera\\_LeConte\\_Coleoptera\\_Chrysomelidae\\_silk\\_feeding\\_on\\_yield\\_parameters\\_of\\_sweet\\_maize](https://www.researchgate.net/publication/345950759_Effects_of_adult_western_corn_rootworm_Diabrotica_virgifera_virgifera_LeConte_Coleoptera_Chrysomelidae_silk_feeding_on_yield_parameters_of_sweet_maize) ISSN: 1873-6904.
- MARTÍNEZ MERA, Alexander Jefferson; Meza Cisneros, Josueth Alfonso, Intriago Mendoza, Fernando Rodolfo e Intriago Mendoza, Flora Carmen. Comparación de métodos de extracción de aceite de algodón: Soxhlet vs Prensa Manual. *Boletín Científico Ideas y Voces*. [En línea]. Vol. 4, núm. 2. Agosto 5 de 2024. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.60100/bciv.v4i2.142> ISSN: 2960-8112.
- KAPADIA, Pritam; Newell, Amy S.; Cunningham, Juan; Roberts, Michael R. y Hardy, John G. Extracción de sustancias químicas de alto valor de plantas para aplicaciones técnicas y médicas. *International Journal of Molecular Sciences*. [En línea]. Vol. 23, núm. 18. 7 de septiembre de 2022. [Fecha de consulta: 28 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms231810334>. ISSN: 1422-0067.
- TOAPANTA GUANÍN, Silvia; Delgado Araújo, Alejandro; Santamaría Carrera, Jorge; García Narváez, Edison y Delgado Araujo, Rita. Optimización del proceso de extracción soxhlet del diente de león (*Taraxacum officinale*) usando criterios de diseño de experimentos box-behnken. *Perfiles*. [En línea]. Vol. 1, núm. 28. Julio - Diciembre 2022. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2025]. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/2eaae43a-9852-4852-b057-0bc5676b3532>. ISSN: 2477-9105.
- MEINKE, Lance J. and Spencer, Joseph L. Corn Rootworm: Biology, Ecology, Behavior, and Integrated Management. *Insects*. [En línea]. Vol. 15, núm. 4. 2024. [Fecha de consulta: 1 de marzo de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/insects15040235>. ISSN: 2075-4450.
- REINDERS, Jordan D., Reinders, Emily E., Robinson, Emily A., French, Bryan W. and Meinke, Lance J. Evidence of western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) field-evolved resistance to Cry3Bb1 + Cry34/35Ab1 maize in Nebraska. *Pest Management Science*. [En línea]. Vol. 78(4). April 2022. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2025]. Disponible en doi: 10.1002/ps.6752. ISSN: 1526-4998.
- TABASHNIK, Bruce E. & Carrière, Yves. Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. *Nature Biotechnology*. [En línea]. Vol. 35(10). Oct 11, 2017. [Fecha de consulta: 1 de marzo de 2025]. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29020006/>. ISSN: 1546-1696.

Fecha de recepción

14/03/2025

Fecha de aceptación

29/01/2026

Fecha de publicación

29/05/2026

# Análisis comparativo de realidad virtual y mixta para montaje técnico de paneles solares

*Comparative analysis of virtual and mixed Reality for technical solar panel assembly*

**Joel Salome Baylon, Rebeca Sarisol Pérez Montané y Paola Alejandra González Rodríguez / Universidad Tecnológica de Manzanillo**

## Resumen

Este estudio compara la efectividad de la realidad virtual (VR) y la realidad mixta (MR) mediante Oculus Quest 3 en el entrenamiento práctico de montaje de paneles solares. Participaron 13 estudiantes, de 20 a 23 años de edad, de Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería Industrial e Ingeniería en Software. La metodología integró marcos teóricos recientes y una simulación educativa desarrollada en VR y MR. Se evaluó comprensión, inmersión, realismo, facilidad de controles, percepción de seguridad, comodidad y preparación para la práctica real. Los resultados indican que la VR ofrece mayor inmersión, comprensión global y preparación técnica, mientras que la MR destaca por la naturalidad de los controles, la percepción de seguridad y la confianza al interactuar en el entorno físico. Se concluye que ambas tecnologías son complementarias y que su integración puede fortalecer la formación técnica mediante experiencias inmersivas, seguras y contextualizadas.

**Palabras clave:** realidad virtual, realidad mixta, energías renovables, aprendizaje práctico.

## Abstract

This study compares the effectiveness of virtual reality (VR) and mixed reality (MR) using Oculus Quest 3 for practical training in solar panel assembly. Thirteen students aged 20 to 23 from Renewable Energy Engineering, Industrial Engineering, and Software Engineering participated. The methodology integrated recent theoretical frameworks and an educational simulation developed in both VR and MR. Participants evaluated comprehension, immersion, realism, control intuitiveness, perceived safety, comfort, and readiness for real-world practice. Results show that VR provides greater immersion, overall comprehension, and technical preparation, while MR stands out for more natural controls, higher perceived safety, and increased confidence when interacting within the physical environment. The study concludes that both technologies are complementary, and their combined use can strengthen technical training through immersive, safe, and context-aware learning experiences.

**Keywords:** Virtual reality, Mixed reality, Renewable energy, Practical learning.

## Introducción

El uso de tecnologías inmersivas ha evolucionado como herramienta clave en la educación técnica y profesional. Investigaciones iniciales como la de Pan *et al.* (2006) destacaron el potencial de la realidad virtual (VR) para recrear entornos complejos y costosos<sup>1</sup>. Por otra parte, Kubr *et al.* (2024) exploran la importancia de la interacción en entornos virtuales para mejorar la retención de conocimientos<sup>2</sup> y Makransky y Mayer (2022) demostraron que la VR fomenta la presencia y el disfrute, favoreciendo un aprendizaje profundo<sup>3</sup>.

A su vez, la realidad mixta (MR) ha ganado popularidad gracias a su capacidad para fusionar elementos virtuales con el entorno físico (Kumar *et al.*, 2025; Westermeier *et al.*, 2023)<sup>4,5</sup>. Huang *et al.* (2025) subrayan el papel de la congruencia perceptual en MR para garantizar coherencia y realismo<sup>6</sup>. En tanto que Brübach *et al.* (2023) y Allcoat *et al.* (2021) indican que la agencia y la plausibilidad son elementos clave para un aprendizaje inmersivo exitoso<sup>7,8</sup>.

En este contexto, el modelo CAMIL (Makransky y Petersen, 2021) integra componentes cognitivos y afectivos para explicar la eficacia del aprendizaje inmersivo, resaltando la motivación y la presencia<sup>9</sup>. Además, Antonopoulos *et al.* (2024) destacan que VR y MR mejoran la confianza y la preparación práctica en áreas técnicas y científicas<sup>10</sup> e Illi *et al.* (2025) analizan el impacto del metaverso y los entornos virtuales en la colaboración y personalización del aprendizaje<sup>11</sup>. Westermeier *et al.* (2023) y Zhang *et al.* (2025) aplicaron MR y VR en formación técnica, confirmando mejoras en la comprensión y motivación<sup>5,12</sup>. No obstante, existen pocos estudios comparativos que analicen ambas tecnologías aplicadas al montaje de paneles solares usando el mismo dispositivo.

## Planteamiento del problema

El montaje de paneles solares exige un alto grado de precisión, coordinación manual y conciencia espacial. Sin embargo, las prácticas presenciales suelen estar limitadas por restricciones de seguridad, recursos y costos. Las tecnologías de VR y MR ofrecen soluciones innovadoras para suplir estas limitaciones, permitiendo entrenamientos inmersivos y controlados. No obstante, aún existe incertidumbre sobre cuál tecnología resulta más efectiva para reforzar la comprensión técnica, la inmersión, la precisión y la confianza en estudiantes técnicos.

## Objetivo

Comparar la efectividad percibida de la VR y la MR usando Oculus Quest 3 en el entrenamiento práctico<sup>13</sup> de montaje de paneles solares, evaluando comprensión, grado de inmersión, realismo, facilidad de controles, percepción de seguridad y comodidad general.

## Método de trabajo

Se desarrolló una aplicación educativa inmersiva en VR y MR para enseñar el proceso de instalación de estructuras y paneles solares. El sistema fue creado en SimLab Soft y optimizado para visores Meta Quest 3. La aplicación guía a la persona usuaria mediante instrucciones paso a paso, simulando con precisión el entorno de trabajo, los componentes estructurales y la secuencia técnica de montaje.

Durante la experiencia, la persona usuaria observa una superficie de concreto donde debe ensamblar perfiles de aluminio, tornillos y tuercas; además, dispone de una mesa virtual que contiene las piezas necesarias (figuras 1 y 2).

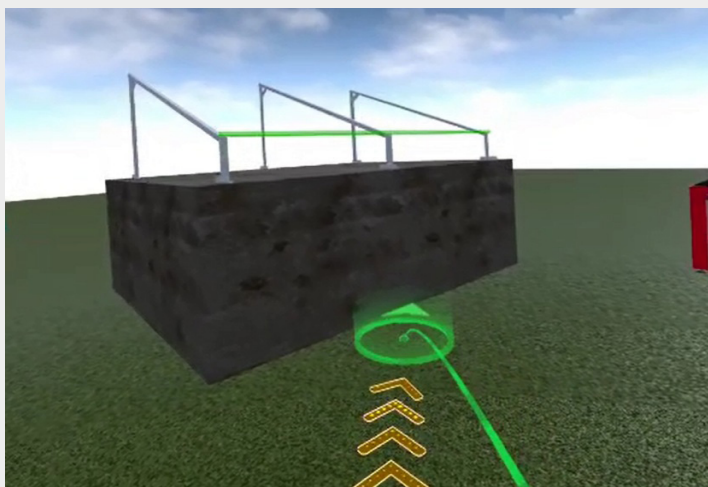


Figura 1. Espacio de trabajo.  
Fuente: elaboración propia

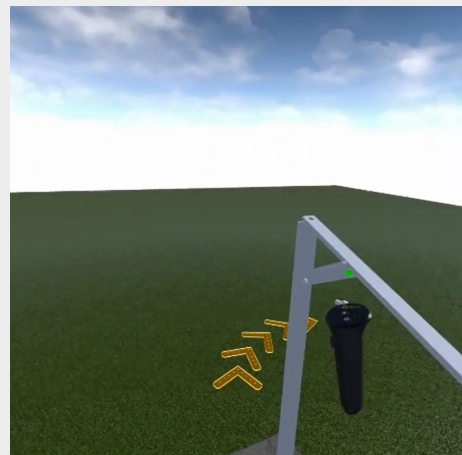


Figura 3. Silueta verde.  
Fuente: elaboración propia

Se generaron dos modalidades. La versión en VR presenta un entorno exterior completamente digital, con iluminación natural y paisajes virtuales, lo que favorece una inmersión total y reduce distracciones del entorno físico (Figura 4).

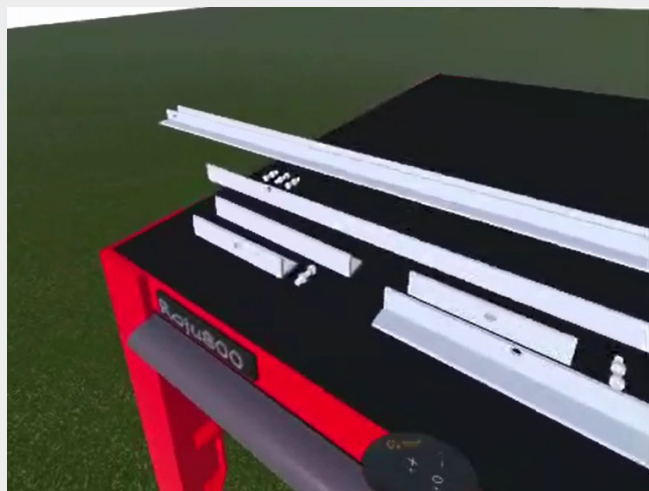


Figura 2. Mesa con piezas.  
Fuente: elaboración propia

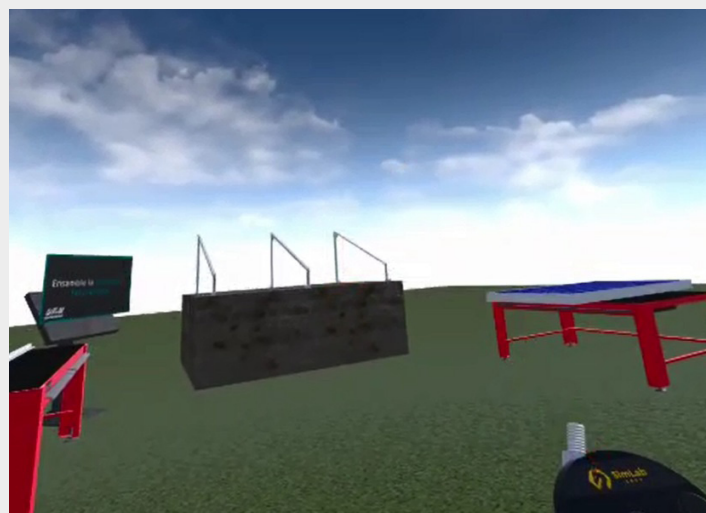


Figura 4. Aplicación en VR.  
Fuente: elaboración propia

Para apoyar el proceso, se incorporaron guías visuales mediante siluetas verdes parpadeantes, que indican la pieza y su ubicación exacta (Figura 3). Al colocar cada elemento, el sistema detecta el contacto y confirma la acción con retroalimentación inmediata, eliminando la guía correspondiente. El montaje abarca la instalación de las secciones frontal y posterior de la estructura y finaliza con la colocación del panel fotovoltaico.

La versión en MR mantiene el mismo procedimiento, pero permite visualizar el espacio real mientras se manipulan objetos virtuales (figuras 5, 6 y 7). Esto facilita su uso en talleres y aulas, mejora la conciencia espacial y aumenta la seguridad percibida durante la práctica.

Un video demostrativo de ambas aplicaciones se encuentra disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=PjssJ\\_HWCEO](https://www.youtube.com/watch?v=PjssJ_HWCEO)



Figura 5. Aplicación en MR.  
Fuente: elaboración propia



Figura 6. Aplicación en MR (otra vista).  
Fuente: elaboración propia



Figura 7. Aplicación en MR (una vista más).  
Fuente: elaboración propia

En el estudio participaron 13 estudiantes de 20 a 23 años de Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería Industrial e Ingeniería en Software. Cada participante utilizó ambas modalidades (VR y MR) y respondió un cuestionario con preguntas cerradas y abiertas para evaluar comprensión, inmersión, realismo, usabilidad de controles, seguridad percibida, comodidad y precisión técnica.

## Resultados

### Facilidad de comprensión

En VR, el 61.5 % calificó la comprensión como "Muy fácil" y el 38.5 % como "Fácil". En MR, el 53.8 % la consideró "Muy fácil", 38.5 % "Fácil" y 7.7 % "Difícil".

En síntesis, la VR ofrece una comprensión inicial ligeramente más clara debido a su entorno totalmente inmersivo.

## Controles intuitivos

La VR fue valorada como “Muy intuitiva” por el 53.8 % de las y los participantes, mientras que la MR alcanzó un 76.9 % en la categoría “Totalmente intuitiva”.

Esto indica que la MR facilita un mayor dominio de los controles, posiblemente por la referencia explícita al entorno físico.

## Nivel de inmersión

El 61.5 % de los estudiantes se sintió “Muy inmerso” en VR, frente al 53.8 % en MR. Sin embargo, MR presentó un mayor porcentaje de participantes que reportaron menor inmersión.

Por lo tanto, la VR genera una experiencia más absorbente y con menor interferencia del entorno real.

## Comprensión de pasos de instalación

La VR obtuvo un 100 % en la categoría “Totalmente”, mientras que la MR alcanzó 76.9 % en este nivel.

Se infiere que la VR facilita la memorización secuencial del procedimiento técnico.

## Percepción de realismo

El 61.5 % consideró la VR “Totalmente realista”, mientras que la MR obtuvo 53.8 % en esta categoría.

En consecuencia, aunque la VR lidera en realismo percibido, la MR se mantiene cercana debido a la visibilidad del entorno físico.

## Modalidad con mayor aprendizaje percibido

VR: 53.8 %.

MR: 30.8 %.

Igual en ambas: 15.4 %.

En general, la mayoría consideró que VR les permitió aprender más, por su enfoque completo y detallado.

## Percepción de seguridad

VR y MR empataron con 38.5 % cada una; 23.1 % consideró ambas igualmente seguras.

En síntesis, la MR incrementa la sensación de seguridad al permitir ver el espacio físico, equilibrando las valoraciones.

## Comodidad de uso

El 76.9 % encontró la VR más cómoda, mientras que solo 15.4 % lo indicó para MR.

Esto indica que la coherencia visual de la VR favorece una experiencia más fluida.

## Preparación para la práctica real

El 53.8 % percibió que la VR las y los prepara mejor para la práctica física, frente al 23.1 % para MR.

Por lo tanto, la VR se percibe como más útil para anticipar condiciones reales de instalación.

## Discusión

Los resultados evidencian diferencias funcionales y complementarias entre la VR y MR en el entrenamiento para el montaje técnico de paneles solares. La VR mostró un mejor desempeño en comprensión global, nivel de inmersión y comodidad de uso, lo que sugiere que un entorno completamente virtual puede favorecer la concentración y el seguimiento secuencial de las tareas. Este comportamiento es consistente con hallazgos reportados en la literatura (Pan *et al.*, 2006; Makransky y Mayer, 2022), donde la inmersión y la presencia se asocian con una mejora en la asimilación de procedimientos técnicos<sup>1,3</sup>.

En contraste, la MR obtuvo mayores valoraciones en la percepción de los controles y la seguridad durante la interacción. La posibilidad de mantener conciencia del entorno físico parece contribuir a una mayor coordinación manual y a una reducción de la ansiedad asociada al error, en línea con lo señalado por Westermeier *et al.*<sup>5</sup>. Asimismo, la integración de elementos reales y virtuales resulta particularmente pertinente en contextos de práctica supervisada y trabajo colaborativo, lo que se alinea con los principios del modelo CAMIL<sup>9</sup>, que destaca la relevancia de la agencia y la congruencia perceptual en el aprendizaje inmersivo (Makransky y Petersen, 2021).

El análisis de las respuestas abiertas refuerza estas observaciones. Los participantes asociaron la VR con una mayor sensación de inmersión y una comprensión más clara del flujo de instalación, mientras que la MR fue valorada por permitir una interacción más segura y cómoda con el entorno real. Las sugerencias relacionadas con un mayor nivel de detalle en componentes pequeños y la incorporación de escenarios adicionales ponen de manifiesto oportunidades de mejora en el diseño de las simulaciones. En conjunto, los resultados apoyan la idea de que ambas tecnologías cumplen roles complementarios dentro de la formación técnica, aportando beneficios diferenciados según el objetivo formativo y el contexto de uso.

Aunque los resultados permiten identificar patrones claros en la comparación entre VR y MR, la muestra utilizada ( $n = 13$ ) es limitada para realizar generalizaciones estadísticas amplias. En consecuencia, los porcentajes reportados deben interpretarse con cautela y como indicadores preliminares del comportamiento observado. Futuras investigaciones podrían incorporar un número mayor de participantes y aplicar pruebas de significancia estadística para determinar si las diferencias identificadas son consistentes y no atribuibles al azar.

## Conclusiones

El presente estudio demuestra que tanto la VR como la MR ofrecen beneficios sustanciales en el aprendizaje técnico de montaje de paneles solares, cada una con ventajas específicas: la VR se consolida como la opción ideal para reforzar la comprensión general, inmersión total y preparación conceptual previa a prácticas físicas, mientras que la MR aporta mayor control intuitivo, percepción de seguridad y contextualización en el entorno real.

Se concluye que la combinación de ambas tecnologías, aprovechando sus fortalezas respectivas, podría conformar una estrategia pedagógica integral para programas de energías renovables y formación técnica avanzada. El uso de simulaciones inmersivas permite suplir limitaciones logísticas y de seguridad de las prácticas presenciales, al tiempo que fortalece habilidades como la precisión, la coordinación manual y la confianza en la ejecución.

Futuros desarrollos deberán enfocarse en aumentar el nivel de detalle en componentes pequeños, ofrecer opciones colaborativas y mejorar la interacción para optimizar la experiencia de la persona usuaria. Además, se recomienda explorar la integración de estas herramientas en otras áreas técnicas y su impacto a largo plazo en la retención de conocimientos y desempeño profesional.

Finalmente, se recomienda ampliar el tamaño de la muestra y aplicar pruebas de significancia estadística en estudios posteriores para fortalecer la validez inferencial de los resultados.

## Referencias

- PAN, Zhigeng; Cheok, Adrian; Yang, Hongwei; Zhu, Jiejie and Shi, Jiaoying. Virtual Reality and Mixed Reality for Virtual Learning Environments. *Computers & graphics*. [En línea]. Vol. 30, no 1, p. 20-28. February 2006. [Fecha de consulta: 30 de junio de 2025]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0097849305002025> ISSN: 0097-8493.
- KUBR, Jan; Lochmannová, Alena & Hořejší, Petr. Immersive Virtual Reality Training in Industrial Settings: Effects on Memory Retention and Learning Outcomes. *IEEE Access*. [En línea]. Vol. 12, pp. 168270-168282. 2024. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10751807> ISSN: 2169-3536.
- MAKRANSKY, Guido and Mayer, Richard E. Benefits of Taking a Virtual Field Trip in Immersive Virtual Reality: Evidence for the Immersion Principle in Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*. [En línea]. Vol. 34, p. 1771-1798. September 2022. [Fecha de consulta: 30 de junio de 2025]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-022-09675-4> ISSN: 1040-726X.
- KUMAR, Advay; Simangunsong, Stephanie; Carreno-Medrano, Pamela and Cosgun, Akansel. Mixed Reality Outperforms Virtual Reality for Remote Error Resolution in Pick-and-Place Tasks. *20th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. Melbourne, Australia. 2025. IEEE. p. 511-519. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10974002>
- WESTERMEIER, Franziska; Brübach, Larissa; Latoschik, Marc Erich and Wienrich, Carolin. Exploring Plausibility and Presence in Mixed Reality Experiences. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. [En línea]. Vol. 29, núm. 5, p. 2680-2689. May 2023. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2025]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10049710> ISSN: 1941-0506.
- HUANG, Tien-Chi; Chen, Cheng-Huan and Tseng, Ching-Yun. Exploring Learning Effectiveness of Integrating Mixed Reality in Educational Settings: A Systematic Review and Meta-analysis. *Computers & Education*, [En línea]. Vol. 234, article 105327. September 2025. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2026]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131525000958> ISSN: 0360-1315.
- BRÜBACH, Larissa; Westermeier, Franziska; Wienrich, Carolin and Latoschik, Marc Erich. A Systematic Evaluation of Incongruencies and Their Influence on Plausibility in Virtual Reality. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Sydney, Australia, 2023, pp. 894-901. IEEE. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10316511>
- ALLCOAT, Devon; Hatchard, Tim and Mühlénen, Adrian Education in the Digital Age: Learning Experience in Virtual and Mixed Realities. *Journal of Educational Computing Research*, [En línea]. Vol. 59, núm. 5, p. 795-816. January 13, 2021. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2026]. Disponible en <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0735633120985120> ISSN: 0735-6331.
- MAKRANSKY, Guido and Petersen, Gustav B. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational psychology review*. [En línea]. Vol. 33, núm. 3, p. 937-958. January 2021. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2025]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-020-09586-2> ISSN: 1040-726X.
- ANTONOPOULOS, Panagiotis; Fokides, Emmanuel; Koutromanos, George. Understanding Learning and Learning Experience in Immersive Virtual Reality. *Technology, Knowledge and Learning*. [En línea]. Vol. 30(3), p. 1771-1800. August 2024. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2025]. Disponible en [https://doi.org/10.1007/s10758-024-09764-z?urlappend=%3Futm\\_source%3Dresearchgate.net%26utm\\_medium%3Darticle](https://doi.org/10.1007/s10758-024-09764-z?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle) ISSN: 2211-1662.
- ILLI, Chaimae and Elhassouny, Azeddine. Edu-Meta-verse: A Comprehensive Review of Virtual Learning Environments. *IEEE Access*. [En línea]. Vol. 13, pp. 30186-30211. 2025. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2026]. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10879446> ISSN: 2169-3536.
- ZHANG, Muhua & Su, Chien-Yuan. The impact of presence on the perceptions of adolescents toward immersive laboratory learning. *Education and Information Technologies*. [En línea]. Vol. 30, núm. 3, p. 3771-3801. 24 August 2024. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2026]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12959-7> ISSN: 1573-7608.
- META. *Meta Quest 3* (antes Oculus Quest 3). Menlo Park, California. USA. 2026. [https://www.meta.com/mx/quest/quest-3/?srsltid=AfmBOoq4tvf\\_Mq1SN-DkVmpjL5l\\_AJcvlcmq8UgWj6DqLKgq-Nlckjla0](https://www.meta.com/mx/quest/quest-3/?srsltid=AfmBOoq4tvf_Mq1SN-DkVmpjL5l_AJcvlcmq8UgWj6DqLKgq-Nlckjla0).

Fecha de recepción

08/07/2025

Fecha de aceptación

12/03/2026

Fecha de publicación

29/05/2026

# Diseño de herramientas para el maquinado de carretes de acero en una empresa de Salvatierra

*Design of tooling for machining steel reels at a lathe company in Salvatierra City*

**Ana Luisa Olvera Montoya, Agustín Rocha Serrano y Marcela Espinosa Rodríguez / Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra**

## Resumen

La investigación se llevó a cabo en una empresa de torno en Salvatierra, Guanajuato, con el objetivo de diseñar y manufacturar herramientas para el maquinado de carretes de acero utilizados en cable automotriz y electrodoméstico para la empresa Cordaflex®. Los carretes de acero se deben maquinar en todos sus componentes, que son: caras externas, caras internas, tambor central y espesor de las caras. Al montar los carretes en el torno The American Tool Work, se presentaron problemas de colisión con el carro principal, ya que la capacidad de volteo del torno es de 610 mm y el diámetro de las caras es de 630 mm, lo que impide el paso de la torreta para maquinar los componentes internos. Por medio de CAD/CAM se elaboraron herramientas para eliminar vibraciones y asegurar que los carretes cumplan con las especificaciones del cliente.

**Palabras clave:** carretes, diseño, herramientas, manufactura.

## Abstract

The research was carried out in a lathe company in the city of Salvatierra in the state of Guanajuato, with the objective of designing and manufacturing tooling for the machining of steel reels for automotive and appliance cables for the company Cordaflex®. Steel reels must be machined in all their components which are: external faces, internal faces, central drum and thickness of the faces. When the reels are mounted on the AMERICAN TOOL WORK CO lathe, the face of the reel collides with the main carriage of the lathe, the turning capacity of the lathe is 610 mm and the diameter of the faces is 630 mm, which prevents the passage of the turret to be able to machine the internal components of the reel. Using CAD/CAM, tooling was developed to eliminate vibrations and ensure that the steel reels meet the client's specifications.

**Keywords:** reels, design, tooling, manufacturing.

## Introducción

De acuerdo con Castillo *et al.* (2011) el diseño y fabricación de herramientas es una de las actividades que se desarrollan en México con el propósito de crear, producir y proveer a la industria metal-mecánica y a las plantas en el momento que lo requieran, de equipos, maquinaria y herramientas de ensamble necesarios para realizar la tarea, bajo las especificaciones del cliente y con la mejor calidad<sup>1</sup>. Para llevar a cabo esta actividad se requiere equipo para corte y soldadura, máquinas, herramientas, mano de obra especializada y espacio adecuado para el ensamble y pruebas de equipos y maquinaria en general.

Para la manufactura de herramientas se debe disponer de máquinas-herramientas convencionales, de control numérico computarizado y de equipos necesarios para la manufactura y verificación de los trabajos que se desarrollan en la planta, y que permiten asegurar la calidad que requieren las y los clientes.

La máquina perforadora se reconoce frecuentemente como la primera máquina-herramienta. Groover (2007) señala que Henry Maudsley inventó el primer torno cortador de tornillos alrededor de 1800: aunque se había usado el torno de madera por muchos siglos, en esta máquina se adicionó una herramienta deslizante mecanizada, con la cual se pudieron desempeñar operaciones de avance y roscado con mucha mayor precisión que por cualquier medio anterior<sup>2</sup>.

La mayoría de las máquinas convencionales de perforado, tornos, máquinas fresadoras, cepillos, perfiladoras y prensas taladradoras usadas hoy en día tienen el mismo diseño básico que las versiones antiguas, creadas durante los dos últimos siglos.

Los centros modernos de maquinado, que son máquinas-herramientas capaces de ejecutar más de un tipo de operación de corte, se introdujeron en la década de 1950, después de que se inventó el control numérico<sup>2</sup>.

En otras investigaciones, Navarro (2008), en el Instituto Politécnico Nacional realizó un proyecto de un nuevo diseño de un cabezal para torno fresador, el cual consistió en un análisis sobre las vibraciones que se producen en los materiales utilizados y por las altas revoluciones con las que trabaja este dispositivo<sup>3</sup>.

Asimismo, como se reporta en Archundia (2015), en la UNAM diseñaron y manufacturaron un troquel, con la finalidad de que las y los alumnos se motivaran y se relacionaran con las operaciones que conlleva la fabricación de troqueles de corte<sup>4</sup>.

En el contexto específico del caso que se presenta, el taller de torno en Salvatierra es sucursal de Distribuidora y Servicios Industriales, S.A. de C.V., tiene la responsabilidad de maquinar los carretes de acero porque cuenta con la maquinaria y el equipo para realizar dicha operación. Con anterioridad, en el taller de torno se han realizado trabajos especiales para dicha empresa, si bien ha sido en pequeñas cantidades (una o dos piezas).

## Objetivo general

Manufacturar los herramientas para el maquinado de carretes de acero para cable automotriz y electrodoméstico.

## Objetivos específicos

- Diseñar herramientas para elaboración de carrete.
- Manufacturar el herramental para la elaboración del carrete.
- Maquinar el carrete para la empresa Cordaflex®.

## Planteamiento del problema

Distribuidora y Servicios Industriales S.A. de C.V. es una empresa que brinda servicios a diferentes empresas en la ciudad de Querétaro, una de las organizaciones con las que actualmente se tiene un contrato es con Cordaflex®, dedicada a cables automotrices y de electrodomésticos. La empresa cliente requiere que sus carretes de acero estén acordes con las especificaciones, debido a que se encuentran desbalanceados, deformados y desgastados por el uso diario. Como consecuencia, hay colisión en el proceso de manufacturación y la empresa desea que en los procesos posteriores no tengan ningún inconveniente a causa de estas piezas.

Los problemas que generan los carretes fuera de especificaciones son vibraciones y averías en las máquinas, haciendo que se enrolen los cables de los carretes y esto implica comprar carretes nuevos, lo cual es costoso.

## Método de trabajo

Para el diseño se utilizaron dos programas: Catia V5® y Solidworks 2015®.

## Herramientales de sujeción

### Diseñar y manufacturar el prototipo 1

Para diseñar y fabricar el prototipo 1 se realizaron las siguientes acciones:

- Se analizó el proceso y se elaboró un bosquejo para el prototipo.
- Se diseñó un prototipo de los herramientas en Catia V5® y Solidworks 2015® con el material disponible en el taller de torno.
- Los materiales utilizados fueron: dos tubos de 101 mm de diámetro, con una longitud de 370 mm cada uno; un cople de 111 mm de diámetro y longitud de 100 mm; un engrane tipo catarina de 153 mm de diámetro; el paso del engrane es de 10 mm y el número de dientes es de aproximadamente 48.

- Todos los materiales se unieron con el proceso de soldadura por arco eléctrico, usando electrodos E6013, después se maquinaron en sus medidas correspondientes.

### Diseñar y fabricar prototipo 2

Las actividades realizadas para diseñar y fabricar el prototipo 2 fueron las siguientes:

- Diseñar con base en el prototipo 1; en comparación, el diseño fue más robusto.
- El material fue un lingote de acero 4140 con un diámetro de 120.24 mm y longitud de 1200 mm.
- El maquinado del prototipo 2 fue conforme a las medidas establecidas en el torno Sliven 3MM CY400. Éste tiene una capacidad de volteo de 400 mm sobre la banca y una longitud máxima de pieza de trabajo de 20000 mm.
- Ya que el cono de los carretes implicó una cierta medida, se tuvo que rellenar un extremo de la flecha, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico, usando electrodos E6013, para poder maquinar el ángulo que se necesitaba.
- Se realizó una rosca de ocho hilos por pulgada, con un inserto de ángulo de 60°.

## Diseñar y manufacturar los herramientas y dispositivos antivibración

Las actividades realizadas para el diseño y manufactura del herramental-abrazadera (H-A) fueron:

- Se hizo boceto del herramental que funciona como soporte para las caras del carrete cuando se maquina.
- Se determinaron los materiales indicados para el diseño y manufactura del herramental-abrazadera.
- Se soldaron los elementos en los semicírculos del H-A.

Las actividades realizadas para **diseñar y manufacturar el dispositivo base para luneta fija** fueron las siguientes:

- Diseñar la forma de este dispositivo para que funcionara como soporte para el vástago del carro móvil, a fin de eliminar vibraciones; y hacer bosquejos.
- Para la fabricación de este dispositivo se consideró una luneta fija que ya no tiene función en ninguna máquina.
- Los materiales se montaron sobre el torno y se soldaron de una manera en la cual se consideró el cuidado para la máquina.
- Después de haber soldado los componentes, se hicieron pruebas para eliminar las vibraciones; en caso contrario, soldar algunos componentes extras para reducirlos al máximo.

## Diseño y manufactura de prensa

Las actividades realizadas para diseñar y fabricar la prensa fueron las siguientes:

- Idear el cómo fabricar una prensa que funcionara para enderezar los carretes de acero, evitando maltratarlos más.
- Hacer bosquejos que ayudaran al diseño de este dispositivo.
- Para comenzar con esta pieza, se recolectaron algunos materiales para poder concluir el diseño.
- El marco tiene dos componentes: uno en la parte de abajo y otro en la parte de arriba, los cuales funcionan como mecanismo que haga girar el carrete cuando se encuentra montado.
- Después de fabricar el marco de este dispositivo, crear el mecanismo que funcione para enderezar los carretes.
- Para empezar este herramental, se colocaron placas de media pulgada soldadas unas con otras, alrededor del tambor central del carrete. Estas placas fueron soldadas perpendicularmente con dos placas de mayor espesor con forma de medio círculo.
- Después de soldadas las placas se tienen dos partes, en donde se muestra el "mecanismo de abrir y cerrar" el herramental, y la otra parte el "mecanismo de sujeción" al tambor del carrete.

## Resultados

### Diseño y fabricación de los herramientas de sujeción (H-S).

Se cuenta con el prototipo 1, aunque se realizó una prueba en el torno, el resultado fue que el material utilizado no resiste las fuerzas ejercidas en el torno y el peso del carrete.

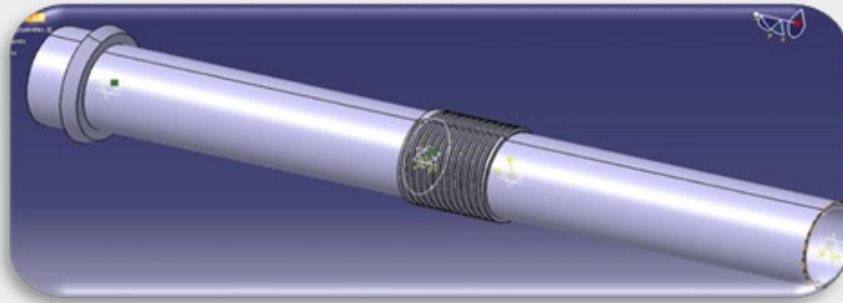


Figura 1. Modelado 3D del prototipo 1.  
Fuente: elaboración propia



Figura 2. Forma física del prototipo 1.  
Fuente: elaboración propia

Para el prototipo 2 se cuenta con el diseño CAD (Figura 3) y la forma física (Figura 4).

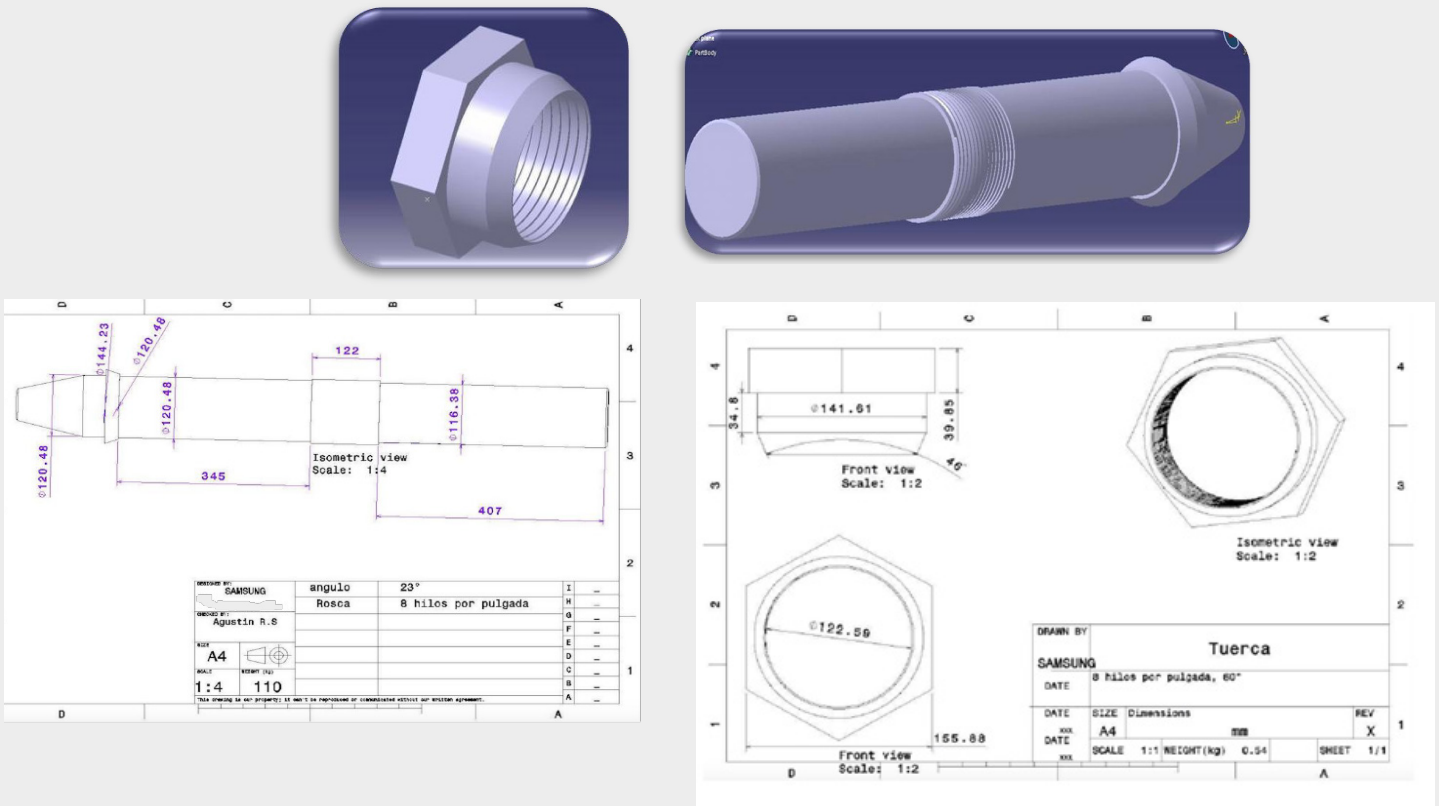


Figura 3 Diseño en CAD del prototipo 2. Fuente: elaboración propia



Figura 4. Forma física del prototipo 2 y su tuerca.  
Fuente: elaboración propia

Este herramental funciona bien para poder maquinar los carretes, pero se tiene un inconveniente, que es el tiempo, ya que se necesitan muchas actividades para el montaje de los carretes en este herramental, y además se necesitan dos personas para poder hacer estas actividades de manera más rápida y segura (ver la Figura 5).



Figura 5. Montaje de carrete en el prototipo 2.  
Fuente: elaboración propia

### Mejora aplicada al herramental de sujeción (H-S)

Consistió en reemplazar el prototipo 2 por esta mejora. Este nuevo proceso reduce los tiempos de montaje de 45 minutos a solo 15, esto es un 67 % de reducción del tiempo solo en el montaje y reduce movimientos innecesarios, de manera que el proceso sea más sencillo, rápido y con solo una persona operaría para hacer este trabajo. En la Figura 6, se muestra la primera parte de la mejora aplicada en el H- S, que consiste en un mamelón (elevación o protuberancia de la pieza) con el ángulo que se necesita y una placa redonda con una película de caucho para eliminar las vibraciones en el maquinado.

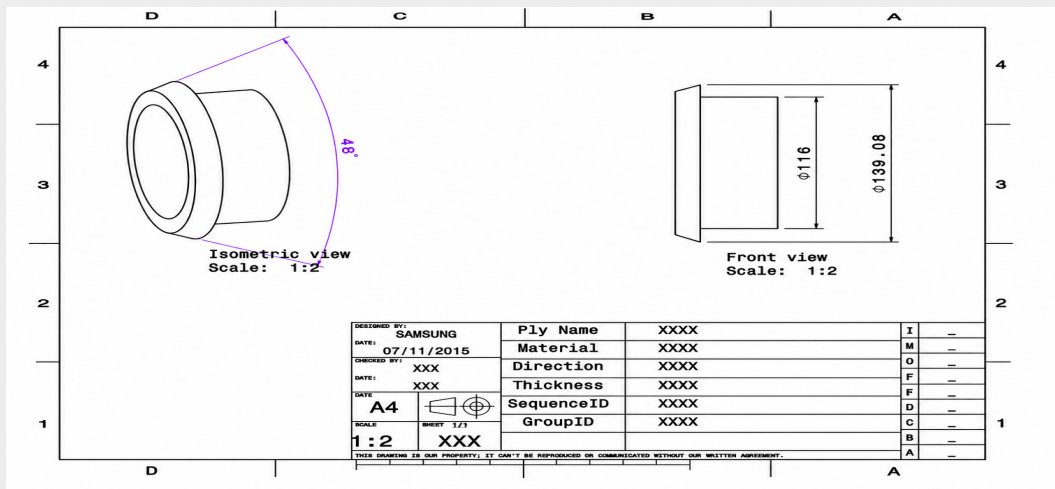
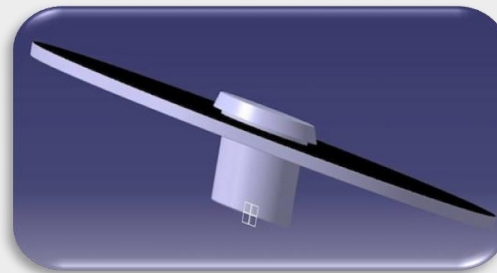


Figura 6. Diseño y manufactura de la mejora en H-S, primera parte.  
Fuente: elaboración propia

En la Figura 7 se muestra el diseño y la manufactura de la segunda parte de la mejora, formada por una nueva punta para un contrapunto, el cual tiene el ángulo adecuado para que se inserte en los carretes.



Figura 7. Diseño y manufactura de la mejora en el H-S, segunda parte.  
Fuente: elaboración propia

La fuerza de sujeción se obtiene con el carro móvil, siendo mayor, comparada con la fuerza de sujeción que se tenía en el prototipo 2 (roscado), y con la nueva fuerza del carro móvil del torno se tuvo una mejor sujeción de los carretes, y así se eliminaron vibraciones en el maquinado (ver las figuras 8 y 9).

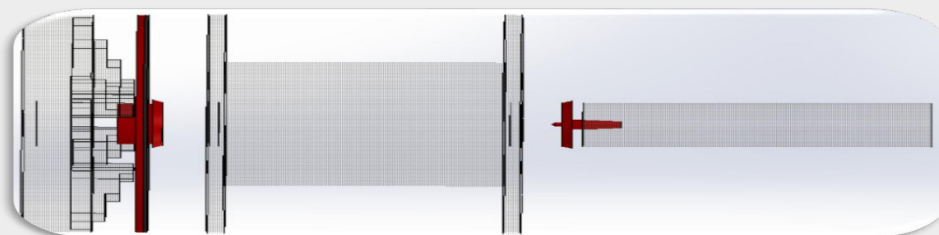


Figura 8. Representación en 3D de la mejora (en carrete).  
Fuente: elaboración propia



Figura 9. Forma física de la mejora en el H-S (en carrete).  
Fuente: elaboración propia

### Diseño y fabricación herramental de corte

Se diseñó y fabricó nuevo herramental de corte (figuras 10 y 11), el cual resolvió el problema de choque entre el carro principal del torno con la cara del carrete, careando las caras internas de cada carrete.

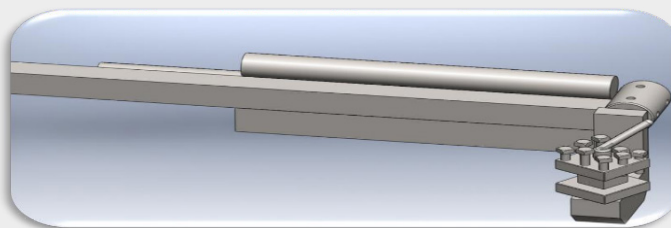


Figura 10. Modelado en Solidworks de herramental de corte.  
Fuente: elaboración propia



Figura 11. Forma física del herramental de corte.  
Fuente: elaboración propia

## Diseño y manufactura de los herramientas y dispositivos antivibración

Para las vibraciones generadas en las caras externas de los carretes se diseñó un herramienta-abrazadera antivibración como se muestra en la Figura 12.

El herramienta-abrazadera (H-A) tiene la capacidad de abrirse y cerrarse para poder insertarse en los tambores de cada carrete y poder ajustarse para eliminar las vibraciones que se producen cuando se carean las caras externas.

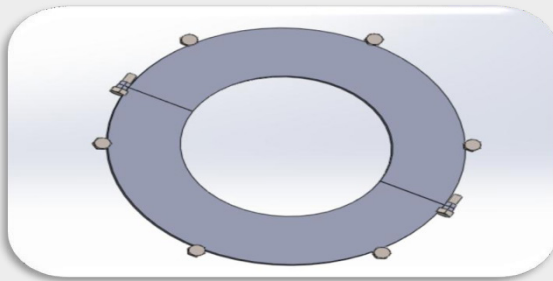


Figura 12. Diseño de H-A.  
Fuente: elaboración propia

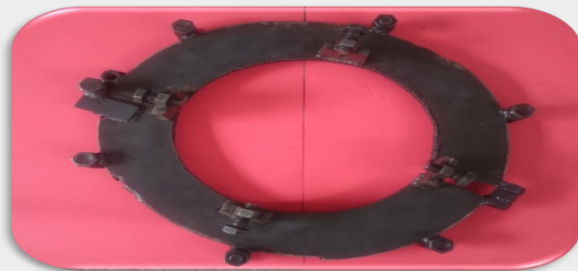


Figura 13. Forma física de H-A.  
Fuente: elaboración propia

Otro herramienta antivibración es el dispositivo base para luneta fija (véase Figura 14). Este herramienta sirvió para disminuir las vibraciones que ocurrieron al momento de maquinar el tambor central de cada carrete.

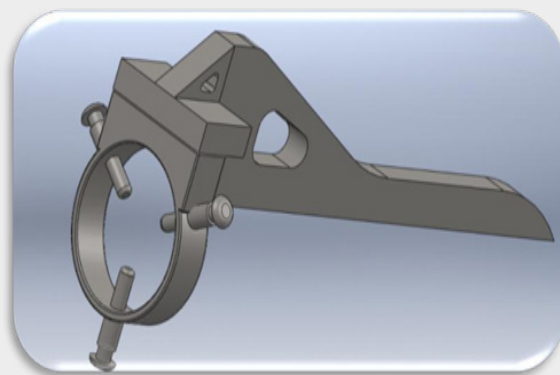
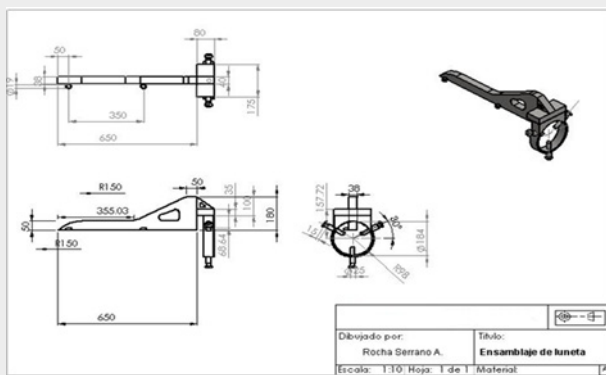


Figura 14. Diseño del dispositivo base para luneta. Fuente: elaboración propia

### Creación de dispositivo prensa para enderezar los carretes deformados

En la Figura 15 se muestra el diseño del dispositivo prensa para montar los carretes deformados y poder enderezarlos, la Figura 16 ilustra la manufactura del dispositivo y en la 17 se observa el montaje de un carrete.

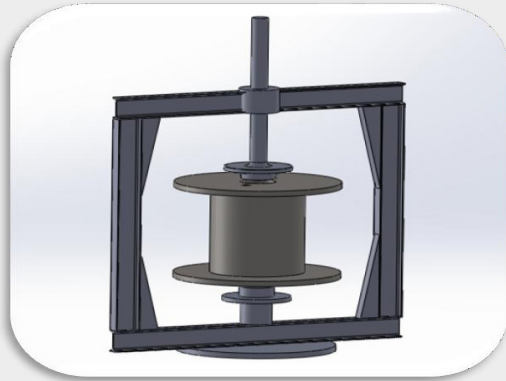


Figura 15. Diseño de dispositivo prensa.  
Fuente: elaboración propia

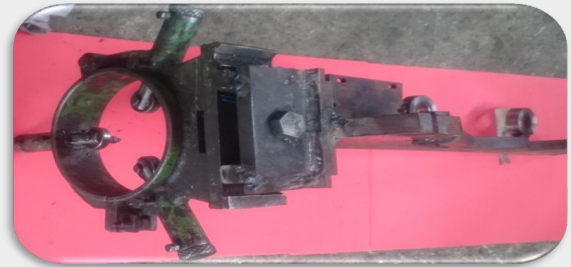


Figura 16. Manufactura del dispositivo para prensa. Fuente: elaboración propia



Figura 17. Montaje de un carrete en dispositivo prensa.  
Fuente: elaboración propia

El dispositivo prensa está formado por dos conos, y a la vez por baleros que hacen girar el carrete y con la ayuda de un indicador de carátula señala en qué punto de la cara se necesita enderezar (ver la Figura 18).



Figura 18. Dispositivo prensa con indicador de carátula.  
Fuente: elaboración propia

Teniendo sujeto el herramental para prensa, y establecida la posición que se requiere enderezar, con la ayuda de un gato hidráulico de 20 toneladas, fue colocado en la posición indicada para enderezar el carrete con la fuerza de presión del gato, haciendo que se enderece, como se observa en la Figura 19.

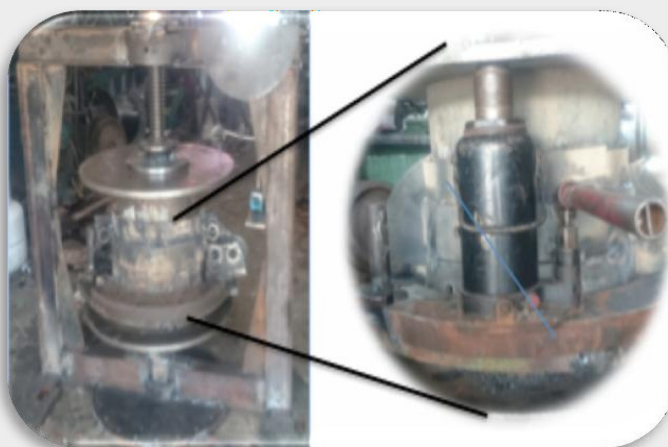


Figura 19. Herramental para prensa y mecanismo de enderezamiento.  
Fuente: elaboración propia

## Análisis económico

Cada carrete se cotiza en \$2,800, pero se le manda a balanceo y esto cuesta \$800, así que la utilidad de cada carrete es de \$2,000, sin contar los costos de transporte. Se balancearon nueve carretes.

## Discusión

Los resultados que se obtuvieron de la investigación ratifican los hallazgos que reporta Carrasco (2006), en su investigación llamada "Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador- CAD/CAM", donde menciona que, en la actualidad, los proyectos metalmecánicos son elaborados y comprobados antes de su fabricación, apoyados en potentes herramientas de diseño y manufactura asistida por computador- CAD/CAM<sup>5</sup>.

En esta tecnología se utilizan las computadoras para el diseño y la fabricación de productos con mayor precisión y a menor costo. Se aplica en muchos procesos de manufactura con o sin arranque de viruta, en la fabricación de piezas complejas, moldes, troqueles y prototipos que requieren de una alta producción o exactitud dimensional. Automáticamente el programa transmite a la máquina CNC (control numérico por computadora) para el mecanizado real de la pieza.

Por su parte, Alderete (2013) se basó en un prototipo para realizar mejoras en el diseño y en el funcionamiento del herramienta<sup>6</sup>. Su principal objetivo fue planear y manufacturar un herramienta mecánico para el descascarado de habas secas que cumpliera con los parámetros especificados según el diseño conceptual del mismo, empleando el uso de CAD/CAM; es de suma importancia mencionar que actualmente en México no se cuenta con el desarrollo de este tipo de tecnología.

El resultado de las investigaciones muestra la importancia del diseño y manufactura de herramientas, para la mejora y la calidad del proceso, y de esta manera cumplir con las especificaciones de las y los clientes.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron satisfactorios, cumpliéndose los objetivos: diseño y manufactura de herramientas para el maquinado de carretes de acero para cable automotriz y electrodoméstico, lográndose manufacturar lo necesario y de esta manera cumplir con la demanda del cliente, ahora se puede ofrecer una oferta a cualquier cliente que necesite de este servicio.

A pesar de que los diseños se empezaron desde cero y su manufactura se elaboró sin recursos económicos, se demostró que es posible maquinar todos los carretes que se demanden, y hacer este proceso industrial.

En este proyecto, considerando los nueve carretes maquinados, se generaron aproximadamente \$18,000 de utilidad, y esto sin invertir dinero, solo con lo que el taller contaba, sumado a la creatividad e ingenio.

Se concluye, que el proyecto tiene rentabilidad y se puede mejorar para mayor eficiencia y productividad, siendo los herramientas y dispositivos creados en el proyecto de forma única, debido a que en el mercado no los producen ni comercializan.

## Referencias

1. CASTILLO SÁNCHEZ, Martín Darío; Velázquez Vázquez, María de Jesús y Rivera Martínez, Juan Daniel. Metodología para el diseño de herramientas de sujeción caso fabricación de carrocerías. *Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica*. [En línea]. Cuautitlán Izcalli, México. Año 6, núm. 6, p. 1-9. septiembre 2021 – agosto 2022. [Fecha de consulta: [Fecha de consulta: 15 de enero de 2024]]. Disponible en [https://virtual.cuautitlan.unam.mx/CongresoCiTec/Memorias\\_Congreso/Anio6\\_No6/Extensos/ID-04.pdf](https://virtual.cuautitlan.unam.mx/CongresoCiTec/Memorias_Congreso/Anio6_No6/Extensos/ID-04.pdf) ISSN 2448-7236.

2. GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. 3ª edición. México. McGraw-Hill. 2007. ISBN: 970106240X.
3. NAVARRO CORTÉS, Alberto. *Aplicación del análisis modal en el diseño de un cabezal para torno fresador de alta velocidad*. [Tesis de maestría]. 2008. Instituto Politécnico Nacional. Disponible en el repositorio del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro, con el número 38 correspondiente al año 2008. <http://148.204.135.107/Paginas/index.php/egresados/9-posgrado/17-egresados-maestria#2008>
4. ARCHUNDIA LÓPEZ, Miguel Ángel. *Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos*. [Tesis de ingeniería]. 2015. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/7658/1/Tesis.pdf>
5. CARRASCO GARCÍA, Juan Carlos. Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *PROSPECTIVA*. [En línea]. Vol. 4, núm. 1, enero-junio 2006, pp. 75-81. [Fecha de consulta: 24 de abril del 2024]. Disponible en [www.redalyc.org/pdf/4962/496251107012.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/4962/496251107012.pdf) ISSN: 1692-8261.
6. ALDERETE GATICA, Víctor Oziel. *Planeación y manufactura de un herramental mecánico para el desprendimiento de la cáscara de haba seca*. [Tesis de maestría]. [En línea]. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Enero 2013. [Fecha de consulta: 19 de marzo de 2024] Disponible en [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/11618.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11618.pdf)

**Fecha de recepción****06/08/2024****Fecha de aceptación****06/10/2025****Fecha de publicación****29/05/2026**

# Diseño y desarrollo de aplicación móvil con realidad aumentada para educación ambiental

*Design and development of a mobile application with augmented reality for environmental education*

**Giovanni García Vargas / Universidad de Colima**

## Resumen

El presente artículo describe el diseño y desarrollo de ECOAWARE-AR, una aplicación móvil basada en realidad aumentada orientada a la educación ambiental en el municipio de Manzanillo, Colima. La aplicación fue desarrollada bajo la metodología ágil Adaptive Software Development (ASD) y está dirigida a la difusión de información sobre áreas naturales protegidas locales mediante marcadores de RA (realidad aumentada) y recorridos virtuales inmersivos. El proceso incluyó el análisis de requerimientos, diseño de interfaz, implementación de funcionalidades y pruebas iterativas de usabilidad. Los resultados evidencian una correcta integración de la realidad aumentada, estabilidad funcional y una experiencia de usuario intuitiva. Se concluye que ECOAWARE-AR representa una herramienta tecnológica con potencial educativo para apoyar procesos de concientización ambiental y difusión de la biodiversidad local.

**Palabras clave:** realidad aumentada, aplicación móvil, educación ambiental.

## Abstract

This article describes the design and development of ECOAWARE-AR, an augmented reality mobile application for environmental education in Manzanillo City, Colima. The application was developed using the Agile Adaptive Software Development (ASD) methodology and is designed to disseminate information about local protected natural areas through AR markers and immersive virtual tours. The process included requirements analysis, interface design, functionality implementation, and iterative usability testing phases. The results demonstrate successful augmented reality integration, functional stability, and an intuitive user experience. It is concluded that ECOAWARE-AR represents a technological tool with educational potential to support environmental awareness and the dissemination of information about local biodiversity.

**Keywords:** Augmented Reality, Mobile Application, Environmental Education.

## Introducción

Hoy en día, el cuidado del medio ambiente es un tema de gran interés en la sociedad, debido a que el impacto de las actividades humanas ha causado grandes consecuencias en el medio ambiente, como la contaminación de agua, tierra y aire, el cambio climático y la extinción de algunas especies. En este sentido, la concientización y la educación desempeñan un papel fundamental en la conservación de un entorno sano.

Dentro de este marco, la realidad aumentada (RA) se presenta como una herramienta tecnológica emergente que, junto con otras formas de interacción digital como los recorridos virtuales, favorece la educación ambiental al ofrecer experiencias dinámicas e interactivas que promueven la reflexión y el aprendizaje. Diversos estudios recientes han señalado que la RA contribuye al fortalecimiento de los procesos de enseñanza-aprendizaje al integrar elementos digitales interactivos dentro del entorno real de la persona usuaria, de esta manera se favorece una mayor comprensión de contenidos y una participación más activa en contextos educativos (Ladykova *et al.*, 2024; Lee, 2012)<sup>1,2</sup>. Asimismo, estas tecnologías inmersivas han demostrado potencial para promover la sensibilización ambiental y el interés por la conservación de los recursos naturales mediante experiencias educativas más dinámicas e interactivas.

Gracias a estas características, las tecnologías inmersivas no solo facilitan la comprensión de contenidos complejos, sino que también contribuyen a generar un mayor grado de concientización ambiental y fomentan cambios de actitud hacia la conservación de los recursos naturales.

## Objetivo

Desarrollar una aplicación móvil basada en realidad aumentada orientada a la educación ambiental, que difunda información sobre áreas naturales protegidas del municipio de Manzanillo, Colima, así como evaluar su potencial como herramienta de concientización ambiental mediante la interacción del usuario con contenidos inmersivos y recorridos virtuales.

## Planteamiento del problema

En Manzanillo, diversas áreas protegidas, como el iguanario Archundia, el campamento tortugario y el aviario La Pérgola, representan ecosistemas de alta relevancia ambiental. Sin embargo, gran parte de la población local y de las y los visitantes desconoce tanto la importancia ecológica de estos espacios como las amenazas que enfrentan debido a factores como la urbanización, la contaminación y la actividad turística no regulada.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar herramientas innovadoras y accesibles que integren tecnología y educación para fomentar la concientización ambiental. La realidad aumentada, combinada con aplicaciones móviles interactivas, ofrece una oportunidad para crear experiencias educativas inmersivas, que faciliten la exploración de las áreas protegidas y promuevan la protección de la biodiversidad local. Por lo tanto, el problema central se enfoca en cómo incrementar el conocimiento, la sensibilización y la participación ciudadana en la conservación de áreas naturales mediante tecnologías educativas innovadoras.

## Método de trabajo

Para el diseño y desarrollo de ECOAWARE-AR, se tomó como referencia la experiencia de aplicaciones previas que hacen uso de la realidad aumentada en entornos educativos, como es el caso de UTEM VISIONS, que es “una aplicación móvil diseñada para aprovechar las capacidades de la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) en la promoción de la Universidad Tecnológica de Manzanillo”<sup>3</sup>. Esa aplicación integra recorridos virtuales que permiten mostrar las diferentes áreas del plantel y emplea geolocalización para brindar información contextual a la persona usuaria mientras interactúa dentro de las instalaciones. Dicho enfoque sirvió como inspiración para implementar en ECOAWARE-AR recursos que favorezcan tanto la inmersión de la persona usuaria como la difusión de contenido educativo ambiental mediante RA.

En cuanto a la metodología empleada, se utilizó ASD (Adaptive Software Development). Esta es una metodología ágil formulada por Highsmith (1999), que se caracteriza por un funcionamiento cíclico donde cada iteración contempla cambios y posibles errores, asumiendo una adaptación continua<sup>4</sup>. A diferencia de las metodologías tradicionales, como Cascada, Espiral, Evolutivo, Incremental o en V, donde no se puede avanzar sin completar cada fase, ASD permite mayor flexibilidad, ya que se basa en un ciclo de *especular, colaborar y aprender*<sup>5</sup>. De acuerdo con Highsmith<sup>4</sup>, la adaptabilidad constituye uno de los principales beneficios de ASD frente a metodologías tradicionales, ya que permite responder de manera flexible a cambios imprevistos durante el proceso de desarrollo.

Las razones para elegir una metodología ágil como ASD fueron precisamente la necesidad de adaptabilidad a cambios constantes, lo cual resulta fundamental en proyectos que incorporan tecnologías emergentes como la realidad aumentada.

Durante el desarrollo se generaron diversos artefactos clave que facilitaron la planificación, diseño, implementación y validación del sistema. Estos incluyeron diagramas UML, documentación técnica, prototipos de interfaz, registros de pruebas y manuales de usuario, los cuales desempeñaron un papel esencial en la organización del equipo, la comunicación entre las personas involucradas y la entrega de un producto funcional y de alta calidad. Asimismo, se consideraron aspectos de compatibilidad técnica y optimización multimedia, a través de emplear formatos MPEG para la integración de recursos audiovisuales dentro de la aplicación (Le Gall, 1991)<sup>6</sup>, así como criterios de adaptación de interfaz y visualización para dispositivos móviles con diferentes resoluciones de pantalla y capacidades de hardware<sup>2</sup>.

En la Figura 1 se presenta una imagen que detalla cada uno de los artefactos generados a partir de la metodología ASD.

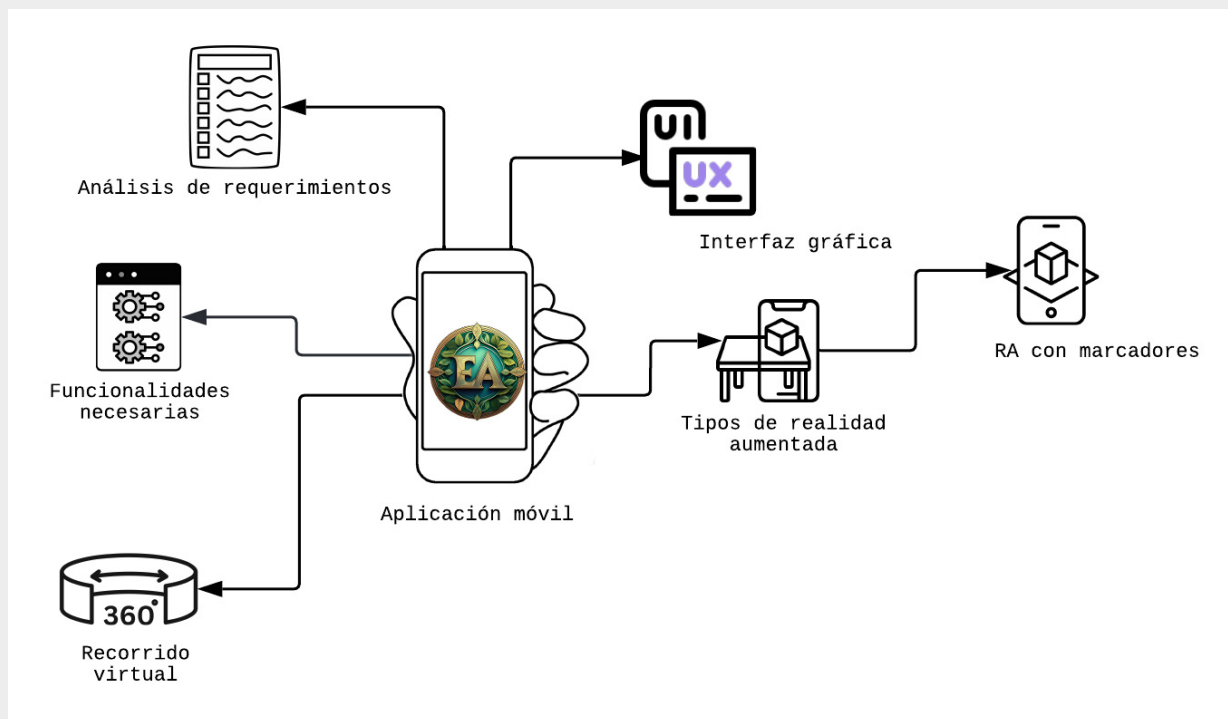


Figura 1. Artefactos generados por metodología ASD. Fuente: elaboración propia

Y en la siguiente tabla se explica más detalladamente cada uno de ellos:

Tabla 1. Descripción de artefactos generados. Fuente: elaboración propia

Artefacto	Propósito	Alcance
<b>Análisis de requerimientos</b>	Determinar los requisitos necesarios para crear la aplicación.	Identificar y documentar los requerimientos funcionales y no funcionales, como lo son el uso offline, la lectura de marcadores RA, el recorrido virtual, una interfaz amigable, compatibilidad con Android.
<b>Funcionalidades necesarias</b>	Definir las características y capacidades esenciales que la aplicación debe tener para cumplir con sus objetivos.	Especificar las funcionalidades principales que aseguren el correcto funcionamiento de la aplicación, como la lectura de marcadores para la realidad aumentada, un recorrido virtual basado en imágenes 360, una interfaz gráfica intuitiva, soporte offline y compatibilidad con dispositivos Android.
<b>Tipos de RA a trabajar</b>	Definir las modalidades de realidad aumentada que se implementarán en la aplicación para enriquecer la experiencia interactiva de la persona usuaria.	Trabajar con realidad aumentada basada en marcadores para mostrar información interactiva al escanear imágenes específicas. Además, los marcadores permiten desplegar contenido multimedia relacionado con especies de fauna protegidas en áreas naturales de Manzanillo, como el tortugario, el iguanario y el aviario.
<b>Recorrido virtual</b>	Ofrecer una experiencia interactiva a la persona usuaria, donde pueda explorar y conocer toda el área sin necesidad de estar de forma presencial en el sitio.	Diseñar un recorrido con uso de imágenes 360 para dar a conocer todo el lugar de forma interactiva, así se genera en la persona usuaria la sensación de que se encuentra dentro del área.
<b>Interfaz gráfica</b>	Diseñar una interfaz visual intuitiva para que la persona usuaria tenga una buena impresión en cuanto a la aplicación.	Crear una interfaz gráfica intuitiva para que sea fácil de navegar dentro de la aplicación, de manera que mejore y facilite la experiencia de la persona usuaria.

Estos artefactos reflejan el proceso iterativo y flexible de la metodología ASD, permitiendo la integración continua de mejoras en la aplicación, siempre con el objetivo de optimizar las funcionalidades y garantizar la calidad y eficacia.

### Proceso de desarrollo

El desarrollo de ECOAWARE-AR se llevó a cabo en tres iteraciones principales conforme a la metodología ASD. En la primera se realizó el análisis de los requerimientos y el diseño conceptual de la aplicación, se definieron las funcionalidades principales y los tipos de realidad aumentada a implementar.

La segunda iteración se enfocó en la implementación técnica, integrando los marcadores de RA, los recorridos virtuales con imágenes 360° y la estructura de navegación de la interfaz gráfica. Finalmente, en la tercera iteración se realizaron las pruebas funcionales y de usabilidad, lo que facilitó la detección y corrección de errores relacionados con la lectura de marcadores y la experiencia de la persona usuaria.

### Resultados

Los resultados obtenidos se analizaron sobre la base del desempeño funcional de la aplicación, la correcta implementación de la realidad aumentada y la experiencia de interacción de la persona usuaria con los contenidos educativos. Estos resultados permiten evaluar la viabilidad de ECOAWARE-AR como herramienta de apoyo para la educación ambiental.

Para el uso de la tecnología de realidad aumentada, se diseñaron marcadores personalizados para cada una de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAS). Estos marcadores funcionan como elementos de activación, ya que al ser escaneados mediante la cámara del dispositivo móvil permiten visualizar la información digital asociada a cada área protegida, como se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Propuesta de marcador con prueba aplicándose. Fuente: elaboración propia

La versión final del menú principal está diseñada para brindar una experiencia más inmersiva e informativa. El fondo ha sido reemplazado por un entorno en 3D de un bosque, lo que proporciona una sensación de profundidad y realismo que refuerza el concepto de conservación ambiental (ver la Figura 3).



Figura 3. Interfaz principal de ECOAWARE-AR. Fuente: elaboración propia

El título ECOAWARE-AR tiene una combinación de colores distintiva: "Eco" en verde y "Aware" en rojo, pero ahora con una modificación en las letras "AR" de "Aware", que aparecen en azul para resaltar la integración de la realidad aumentada dentro de la aplicación.

Además de los botones para acceder a las áreas protegidas, incluye elementos funcionales para mejorar la accesibilidad y brindar más información a la persona usuaria: se tiene el botón de salida, que permite cerrar la aplicación de manera rápida y sencilla. Por su parte, el botón "Acerca de" contiene información sobre los desarrolladores de la aplicación y los supervisores del proyecto. El ícono con la mascota de la aplicación presenta una introducción sobre qué es ECOAWARE-AR y sus principales funciones.

Y además el selector del manual de usuario, que proporciona una guía detallada sobre el uso de la aplicación, asegurando que las personas usuarias puedan navegar por todas sus funciones sin dificultades.

Los menús de cada área mantienen botones para acceder a las funcionalidades de realidad aumentada, recorridos virtuales, geolocalización y especies conservadas, además de la opción para regresar al menú principal. Sin embargo, se realizaron mejoras visuales en los fondos para hacerlos más representativos e inmersivos.

Ahora, cada área tiene un fondo en 3D acorde a su entorno natural: el aviario, cuenta con un paisaje de selva con un lago, en representación de uno de los hábitats naturales de las aves (ver la Figura 4).



Figura 4. Menú de la sección Aviario.  
Fuente: elaboración propia

En la Figura 5 se presenta una descripción general del aviario La Pérgola, acompañada de un marcador de realidad aumentada diseñado específicamente para esta área protegida. Dicho marcador, al ser escaneado mediante la aplicación ECOAWARE-AR, activa un entorno interactivo que despliega un menú con diversas opciones informativas, como la descripción del sitio, los objetivos de conservación y las especies protegidas. El menú resultante de esta interacción puede observarse en la Figura 6, donde se ejemplifica la forma en que la persona usuaria accede al contenido educativo a través de la aplicación.



Figura 5. Introducción al Aviario.  
Fuente: elaboración propia

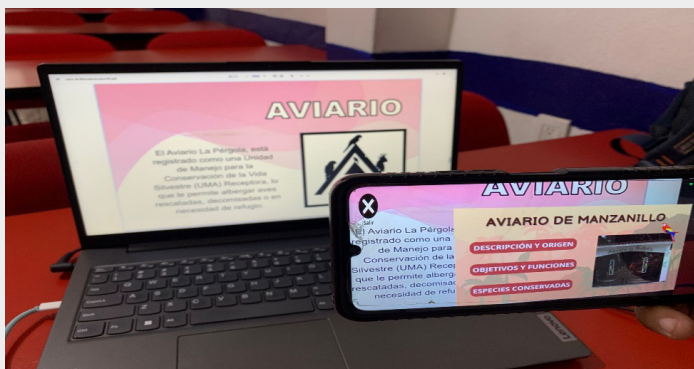


Figura 6. Menú resultante de la sección Aviario.  
Fuente: elaboración propia



Figura 8. Interfaz de una especie.  
Fuente: elaboración propia

El apartado de especies conservadas (Figura 7) representa uno de los resultados educativos más relevantes de la aplicación ECOAWARE-AR. A través de esta funcionalidad, la persona usuaria puede acceder a información detallada sobre las especies de fauna que habitan en las áreas naturales protegidas incluidas en la aplicación, como el aviario, el tortugario y el iguanoario.

Durante las pruebas funcionales, el acceso a las especies conservadas se realizó de manera correcta y estable, esto evidenció que la aplicación cumple con su propósito de difundir conocimiento ambiental mediante una experiencia interactiva. Este enfoque contribuye a la sensibilización de las y los usuarios, al vincular información científica con una interacción visual e inmersiva.

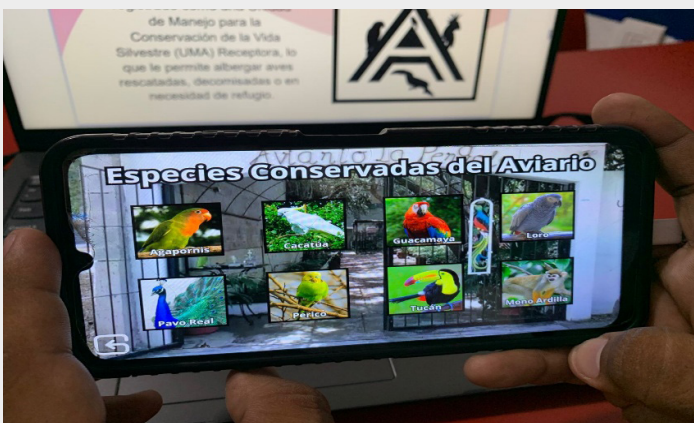


Figura 7. Interfaz de Especies conservadas del aviario, orientado a la consulta de la fauna protegida.  
Fuente: elaboración propia

El recorrido virtual (Figura 9) constituye uno de los principales resultados funcionales de la aplicación ECOAWARE-AR: permite a la persona usuaria explorar de manera inmersiva las áreas naturales protegidas, mediante imágenes en formato 360°, ofreciendo una experiencia visual interactiva que simula la presencia física en el sitio (Figura 10).

La información se presenta de forma estructurada y accesible (Figura 8), de manera que permite consultar datos generales de cada especie, así como su distribución y alimentación. Este contenido se encuentra integrado tanto en los menús informativos como en las experiencias de realidad aumentada, lo que facilita el aprendizaje contextualizado y refuerza la comprensión del valor de la biodiversidad local.



Figura 9. Recorrido virtual – Entrada al aviario.  
Fuente: elaboración propia

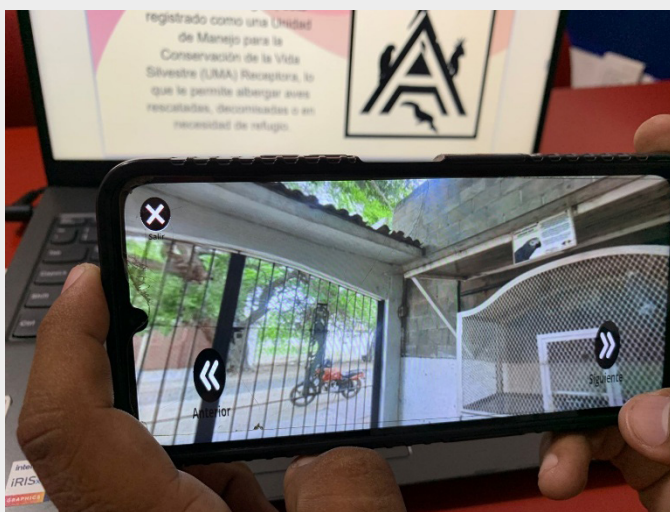


Figura 10. Primera jaula dentro del aviario.  
Fuente: elaboración propia

Por lo que se refiere al desarrollo técnico de la aplicación, enseguida se presenta una tabla con el resumen de resultados con relación a cada uno de los artefactos.

La Tabla 2 incluye los artefactos generados durante el desarrollo de ECOAWARE-AR. Cada artefacto refleja un componente clave en el diseño y la implementación de la aplicación, abordando desde el análisis del requerimiento hasta la interfaz gráfica.

Durante las pruebas de funcionamiento, el recorrido virtual mostró un desempeño estable, lo que permitió la navegación fluida entre los diferentes puntos de interés, sin interrupciones ni pérdidas de calidad visual. Esta característica facilita el acceso a la información ambiental, especialmente para personas usuarias que no pueden visitar físicamente las áreas protegidas, de esta manera se amplía el alcance educativo de la aplicación.

Tabla 2. Descripción de los resultados a partir de los artefactos. Fuente: elaboración propia

Artefacto	Resultado
<b>Análisis de requerimientos</b>	El análisis de los requerimientos permitió estructurar correctamente los requisitos del proyecto. Esto contribuyó al establecimiento de una base sólida para la planificación del sistema y evitar omisiones.
<b>Funcionalidades necesarias</b>	Las funcionalidades cumplen con los objetivos del proyecto. Se identificaron oportunidades de optimización en la integración de la realidad aumentada y el recorrido virtual.
<b>Tipos de RA a trabajar</b>	La RA basada en marcadores fue aplicada correctamente y funciona de manera estable y da los resultados esperados.
<b>Marcadores</b>	Con una lectura efectiva de los marcadores, la RA se muestra de forma correcta ante las y los usuarios.
<b>Recorrido virtual</b>	El recorrido virtual permite a los usuarios explorar las áreas protegidas de manera inmersiva. Al integrar imágenes 360 se le da la oportunidad a la persona usuaria de conocer el lugar de una forma más integral.
<b>Interfaz gráfica</b>	La interfaz fue diseñada para ofrecer una experiencia intuitiva, fluida y accesible a los usuarios. Se priorizó un diseño limpio y funcional, esto permitió una navegación sencilla dentro de la aplicación

Es importante señalar que en este trabajo se presentan únicamente las interfaces correspondientes al aviario, ya que las secciones del tortugario e iguanario comparten la misma estructura, lógica de funcionamiento y disposición de elementos interactivos.

Los resultados evidencian que la integración de realidad aumentada y recorridos virtuales constituye una estrategia efectiva para la difusión de información ambiental, al promover una interacción activa del usuario y facilitar la comprensión de la biodiversidad local y la importancia de su conservación.

## Discusión

El desarrollo de ECOAWARE-AR evidencia el potencial de la realidad aumentada como herramienta de apoyo para la educación ambiental, al integrar elementos inmersivos e interactivos que favorecen la participación activa de las personas usuarias. Estudios recientes señalan que la realidad aumentada fortalece los procesos de enseñanza-aprendizaje al integrar información digital en entornos reales, lo que facilita experiencias educativas más dinámicas y comprensibles<sup>1</sup>.

En comparación con métodos tradicionales de difusión ambiental, ECOAWARE-AR incorpora recorridos virtuales, marcadores de realidad aumentada y contenido multimedia que permiten una interacción más dinámica con la información referente a las áreas naturales protegidas. Durante las pruebas funcionales, la lectura de los marcadores permitió visualizar correctamente los contenidos en realidad aumentada; sin embargo, se recomienda optimizar el contraste y mejorar el diseño gráfico de los marcadores para garantizar su legibilidad en diversas condiciones. Asimismo, se identificaron áreas de mejora relacionadas con la integración entre la realidad aumentada y el recorrido virtual.

Finalmente, el desarrollo de esta aplicación representa una alternativa tecnológica con potencial para futuros proyectos orientados a la difusión y conservación ambiental.

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran la dependencia de las capacidades del hardware de los dispositivos móviles y la ausencia de instrumentos cuantitativos que permitan medir formalmente el impacto de la aplicación en la concientización ambiental.

## Conclusiones

El desarrollo de ECOAWARE-AR permitió adquirir experiencia en el uso de herramientas tecnológicas como el motor de desarrollo Unity, así como en la integración de tecnologías emergentes orientadas a la sensibilización ambiental y a la difusión de información sobre la importancia del cuidado del medio ambiente y su impacto en la sociedad.

Entre las principales dificultades identificadas se encontraron problemas relacionados con la lectura estable de los marcadores de Realidad Aumentada bajo condiciones de iluminación variables, así como la optimización del rendimiento de la aplicación en dispositivos móviles con diferentes capacidades de hardware. Estas situaciones fueron abordadas mediante mejoras en el contraste y diseño de los marcadores, así como la optimización de recursos multimedia y la adaptación de resoluciones de pantalla, lo que posibilita una visualización adecuada del contenido en distintos dispositivos.

Asimismo, se presentaron retos en el diseño de una interfaz gráfica intuitiva para personas usuarias con distintos niveles de familiaridad tecnológica, estos fueron resueltos mediante pruebas iterativas de usabilidad y ajustes progresivos en la navegación y disposición de los elementos visuales, de manera que se logró una interfaz accesible y uniforme. La estandarización de las interfaces para las distintas áreas protegidas contribuyó a una experiencia de uso coherente y comprensible.

En relación con el objetivo de concientización ambiental, la interacción del usuario con contenidos en realidad aumentada, recorridos virtuales e información contextual evidenció que la aplicación facilita el acceso a información ambiental de manera atractiva e inmersiva. Si bien el impacto no fue evaluado mediante instrumentos cuantitativos, la exploración autónoma y el acceso contextualizado a los contenidos permiten identificar a ECOAWARE-AR como un recurso con potencial educativo para fomentar la reflexión y sensibilización sobre la protección de la biodiversidad local.

## Referencias

1. LADYKOVA, Tatiana; Sokolova, Ekaterina I., Grebenshchikova, Ludmila Y., Sakhieva, Regina G., Lapidus, Natalia I. y Chereshneva, Yelizaveta V. Augmented reality in environmental education: A systematic review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. [En línea]. Vol. 20(8), em 2488. 2024. [Fecha de consulta: 22 de enero de 2026]. Disponible en <https://www.ejmste.com/download/augmented-reality-in-environmental-education-a-systematic-review-14914.pdf> ISSN: 1305-8215.
2. LEE, Kangdon. Augmented reality in education and training. *TechTrends*. [En línea]. Vol. 56, p. 13-21. February 2012. [Fecha de consulta: 22 de enero de 2026]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11528-012-0559-3> ISSN: 8756-3894.
3. PÉREZ, Pedro Luis; García, Giovanni; Fausto, Daniel e Irra, José Abraham. Desarrollo de app con realidad aumentada para promoción de la Universidad Tecnológica de Manzanillo. *Reaxión*. [En línea]. Año 11, núm. 3, mayo – agosto 2024. [Fecha de consulta: 26 de septiembre de 2025]. Disponible en [http://reaxion.utleon.edu.mx/Art\\_Desarrollo\\_de\\_app\\_con\\_realidad\\_aumentada\\_para\\_promocion\\_de\\_la\\_Universidad\\_Tecnologica\\_de\\_Manzanillo.html](http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Desarrollo_de_app_con_realidad_aumentada_para_promocion_de_la_Universidad_Tecnologica_de_Manzanillo.html) ISSN: 2007-7750.
4. HIGHSMITH, James. *Adaptive Software Development: A Collaborative Approach to Managing Complex Systems*. New York: Dorset House Publishing, 1999. ISBN: 978-0932633408.
5. RIVERO, José y Torres Guerrero, Karen. *Desarrollo adaptable de software (ASD)*. [En línea]. Barinas: Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”. 2014. [Fecha de consulta: 26 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://darjelingsilva.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/05/1-metd-asd.pdf>
6. LE GALL, Didier. MPEG: A video compression standard for multimedia applications. *Communications of the ACM*. [En línea]. Vol. 34, no. 4, p. 46-58. 1991. [Fecha de consulta: 26 de septiembre de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.1145/103085.103090> ISSN: 0001-0782.

**Fecha de recepción****27/09/2025****Fecha de aceptación****12/03/2026****Fecha de publicación****29/05/2026**

# REAXXION

Ciencia y tecnología universitaria

La Revista Reacción actúa como mero difusor, por lo que el contenido y opiniones del artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y autoras, y no representan la opinión oficial de la Revista Reacción, ni de la Universidad Tecnológica de León.

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos solo para difusión sin ningún fin de lucro. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.



# REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria



latindex

PERIÓDICA  
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

 **Actualidad Iberoamericana**  
Índice Internacional de Revistas

Google Académico

  
**UTL**  
LEÓN