Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre **2026**
DOI:10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

ISSN-e: 3061-8096



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

DGTIC UNAM
DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC

Consejo Editorial

Instituto Politécnico Nacional, Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra • Instituto Tecnológico de Morelia, Dr. Juan Carlos Olivares Rojas • Universidad Nacional Autónoma de México • Dra. Laurette Godinas (Instituto de Investigaciones Bibliográficas) • Dr. Paul Rolando Maya Ortiz (Facultad de Ingeniería) • Dra. María Cristina Verde Rodarte (Instituto de Ingeniería).

Equipo Editorial

Editor Responsable Héctor Benítez Pérez • Editora Académica Marcela J. Peñaloza Báez • Editora Técnica Pamela Valdés Reséndiz • Asistente Editorial Eric Villar Juárez • Corrector de estilo Pablo Vázquez Castellanos • Normalización de citas y referencias Jorge Alberto Colín Rojas • Diseño Gráfico y editorial Miguel Ángel Islas Flores • Maquetación Jonathan Cedillo Castro • Servicio Social Juan Manuel Campos Coto • Prácticas Profesionales Isela Zayde Diosdado Parada

Para citar un reporte técnico de la obra: Apellidos 1 Apellidos 2, Iniciales nombres. (2026). Título del reporte técnico. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4* (4), páginas (N1-N2). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC, Año 4, No. 4, octubre-diciembre 2026, es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, Circuito Exterior s/n, frente a la Facultad de Contaduría y Administración, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Tel. (55) 5622 8502 y 5622 8354, URL: https://cuadernos.tic.unam.mx, correo electrónico cuadernostecnicos-dgtic@unam.mx, Editor responsable: Dr. Héctor Benítez Pérez. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título: 04-2023-100610042700-102, ISSN-e: 3061-8096, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Dra. Marcela J. Peñaloza Báez, responsable de la última actualización de este número, Circuito Exterior s/n, frente a la Facultad de Contaduría y Administración, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. Fecha de la última modificación, 13 de noviembre de 2026.

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Consejo Editorial, o del Comité Editorial de la DGTIC, o la postura de las personas editoras y la editorial de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

AVISO DE PRIVACIDAD
https://www.tic.unam.mx/avisosprivacidad/

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

COLABORADORES

Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial a través de Socorro Venegas Pérez, Directora General • Guillermo Chávez Sánchez, Subdirector de Revistas Académicas y Publicaciones Digitales • Jaqueline Segura Bautista, Gestión de Revistas Académicas • Jorge Pérez García, Jefe del Departamento de Soporte Técnico de Sistemas Editoriales • Juan Manuel Rodríguez Martínez, Jefe de Desarrollo.

Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación a través de Ana Yuri Ramírez Molina, Directora de Colaboración y Vinculación • Juan Manuel Castillejos Reyes, Líder de proyecto de Soporte Técnico • Alberto González Guízar, Infraestructura y software • José Othoniel Chamú Arias, Servidores y bases de datos.

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4

Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas, Rector • Dr. Javier de la Fuente Hernández, Secretario General • Mtro. Hugo Alejandro Concha Cantú, Abogado General • Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez, Secretario Administrativo • Dra. Diana Tamara Martínez Ruíz, Secretaria de Desarrollo Institucional • Dr. Héctor Benítez Pérez, Director General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación.

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

CONTENIDO

Presentación
Héctor Benítez Pérez 8

Herramienta TIC basada en aprendizaje de máquina y procesamiento digital de imágenes para el análisis de nanopartículas
María Elena Cruz Meza, Sandra Vázquez Romero, Yazmin Montserrat Flores Martínez 9

Gestión de documentos y acuses para el profesorado mediante un *plugin* local y un bloque en Moodle 5
Jorge Alejandro Camacho Morales, Alejandro Alayola Sansores, Viridiana Robles González, José González Suárez 38

Sistema automatizado de recuperación de datos históricos del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra
Alejandro Aguilar Sierra 53

Automatización asistida por inteligencia artificial generativa de la publicación de boletines en un blog institucional universitario
Miriam Esther Olguin Hernández 68

Marco tecnológico para un repositorio de recursos digitales en la UNAM: arquitectura, clasificación y diseño de la interfaz gráfica
Mario Alberto Arredondo Guzmán, Karla Erazo Castrejón, Luis Ángel Reséndiz Goche, Miguel Ángel Islas Flores 82

Red IoT para el monitoreo de temperatura y humedad en una sala de cómputo
Adrián Leonardo Rodríguez Pichardo, José Alberto Aparicio Santos, Karla Fabiola Barajas Pérez 109

Evaluación comparativa de herramientas de análisis de vulnerabilidades para escenarios de gestión de superficie de ataque
Félix Alejandro Hernández Fuentes 127

Invisibilidad analítica: un marco diagnóstico para brechas de trazabilidad en arquitecturas de medición web
Cristhian Eder Alavez Barrita 141

Análisis para la migración de datos de Microsoft Excel a una base de datos relacional mediante Drupal
Carlos Valadez Cedillo 153

Granja de renderizado distribuida: diseño modular, controles de seguridad e interoperabilidad mediante software libre
Pablo Enrique Zenil Rivas 170

Automatización de la difusión de la oferta académica mediante un plugin personalizado para WordPress
Jazmín Cabello Pérez 181

Reimplementación de contenido de CMS Joomla a WordPress sin migración directa
Edgar Vargas Zermeño 199

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026

PRESENTACIÓN

Las universidades son espacios que favorecen la acción colectiva para la generación de conocimiento así como su uso innovador en beneficio de las comunidades. En ellas, podemos aprovechar el conocimiento y generar nuevos productos a través de la innovación para que las instituciones de educación superior formen los recursos humanos que nuestro país requiere. Con este espíritu, en 2023 la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación creó la revista digital Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC (CTUD).

A tres años de su primera publicación, este proyecto ha madurado gracias al concurso de personas autoras, revisoras y editoras, así como de integrantes de cuerpos colegiados. La contribución de cada una de ellas, desde su rol y especialidad, permitió que CTUD fuera evaluada como una publicación de nivel consolidado por la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, al haberla admitido en agosto de 2026 en el Sistema Nacional de Publicaciones Científicas y Humanísticas.

CTUD es un espacio para que las personas autoras compartan los aspectos técnicos de las soluciones que han implementado en las instituciones de educación superior, a partir de acciones concretas en la innovación al interior de sus procesos. La revista ha permitido reflejar el trabajo especializado del personal TIC en 116 reportes técnicos publicados bajo buenas prácticas editoriales, que han favorecido la citación de una quinta parte de ellos, principalmente en tesis de licenciatura y maestría en España, Ecuador, Perú, Colombia y México, pero también en memorias de congreso, libros y revistas arbitradas.

En la DGTIC buscamos que CTUD sea ese espacio donde el personal técnico especializado se convierta en una persona autora de contenido arbitrado en acceso abierto, disponible para quien estudia la aplicación de las TIC, para quien revisa, para quien escribe, para quien lee y para quien consulta desde un sistema bibliotecario. Es un mecanismo para impulsar el uso y aprovechamiento de la tecnología en las instituciones de educación superior. Por mi parte, la invitación siempre estará vigente y dirigida a todo el personal TIC que, desde nuestras universidades, hace posible que las comunidades académicas hagan mejor su trabajo, día a día.

Bajo principios de rigor y certeza académica, te invitamos a celebrar con nosotros una tradición que cumple sus primeros tres años de publicación trimestral. CTUD existe gracias a tu participación y, como una revista orgullosamente UNAM, está abierta a las instituciones de educación superior mexicanas y del resto de Hispanoamérica.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Dr. Héctor Benítez Pérez

Presidente del Comité Editorial de la
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 13 de noviembre de 2026.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 9 - 37

Herramienta TIC basada en aprendizaje de máquina y procesamiento digital de imágenes para el análisis de nanopartículas

ICT tool based on machine learning and digital image processing for nanoparticle analysis

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Cruz Meza, M. E., Vázquez Romero, S. y Flores Martínez, Y. M. (2026). Herramienta TIC basada en aprendizaje de máquina y procesamiento digital de imágenes para el análisis de nanopartículas. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (9 - 37). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213

María Elena Cruz Meza
Escuela Superior de Cómputo
Instituto Politécnico Nacional
mcruzm@ipn.mx
ORCID: 0009-0008-2462-3583

Sandra Vázquez Romero
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
Instituto Politécnico Nacional
svazquezr@ipn.mx
ORCID: 0009-0001-8743-4076

Yazmin Montserrat Flores Martínez
Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía
Instituto Politécnico Nacional
yfloresma@ipn.mx
ORCID: 0000-0001-9382-5316

Resumen

El análisis de imágenes microscópicas constituye una actividad esencial en diversas líneas de investigación científica; sin embargo, la identificación, conteo y caracterización de nanopartículas continúan requiriendo procesos manuales que demandan tiempo, personal especializado y acceso a herramientas de análisis específicas. Con el propósito de apoyar estas actividades, se desarrolló una herramienta TIC basada en aprendizaje de máquina y procesamiento digital de imágenes para asistir a personas investigadoras en el análisis de muestras microscópicas digitalizadas. El trabajo se realizó en el marco de los proyectos SIP 20242607 y SIP 20250669 del Instituto Politécnico Nacional. Inicialmente, se investigaron

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 10 - 37

y evaluaron distintas tecnologías orientadas al reconocimiento automático de microorganismos mediante imágenes microscópicas. Posteriormente, la solución evolucionó hacia el reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica, atendiendo necesidades identificadas por personas investigadoras del área de nanotecnología.

Para el desarrollo de la herramienta, se analizaron e integraron tecnologías de visión por computadora, procesamiento digital de imágenes e inteligencia artificial, incluyendo algoritmos de segmentación, detección de objetos y redes neuronales convolucionales. Como resultado, se implementó una solución capaz de realizar reconocimiento automático de referencias de escala, identificación preliminar de nanopartículas y obtención de características morfológicas de apoyo para actividades de investigación.

Los resultados demostraron que la herramienta TIC permite automatizar parcialmente tareas tradicionalmente ejecutadas de forma manual y facilita la generación de información cuantitativa para el análisis de muestras microscópicas. Asimismo, la experiencia obtenida evidenció que la colaboración entre inteligencia artificial y especialistas contribuye significativamente a la confiabilidad de los resultados cuando se trabaja con conjuntos de datos reducidos o altamente especializados. En consecuencia, la solución desarrollada constituye una alternativa tecnológica para fortalecer actividades de investigación apoyadas en el uso de TIC e inteligencia artificial.

Palabras clave: Caracterización morfológica, *Human-in-the-Loop,* inteligencia artificial, microscopía electrónica, visión por computadora.

Abstract

Microscopic image analysis is an essential activity in multiple scientific research areas; however, nanoparticle identification, counting, and characterization still rely on manual procedures that require significant effort, specialized personnel, and dedicated analytical tools. To support these activities, an ICT tool based on machine learning and digital image processing was developed to assist researchers in the analysis of digitized microscopic samples. This work was carried out within the framework of SIP Projects 20242607 and 20250669 at the Instituto Politécnico Nacional. Initially, different technologies for the automatic recognition of microorganisms from microscopic images were investigated and evaluated. Subsequently, the solution evolved toward the recognition, counting, and characterization of nanoparticles observed through electron microscopy, addressing requirements identified by researchers in the field of nanotechnology.

For the development of the tool, computer vision, digital image processing, and artificial intelligence technologies were analyzed and integrated, including segmentation algorithms, object detection techniques, and convolutional neural networks. As a result, a solution capable of performing automatic scale-reference recognition, preliminary nanoparticle identification, and morphometric characterization was implemented.

The results demonstrated that the ICT tool can partially automate tasks traditionally performed manually and facilitate the generation of quantitative information for microscopic sample analysis. Furthermore, the experience gained showed that collaboration between artificial intelligence and domain specialists significantly improves result reliability when working with limited or highly specialized datasets. Consequently, the developed solution represents a technological alternative for strengthening research activities supported by ICT and artificial intelligence.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 11 - 37

Keywords: *Morphometric characterization, Human-in-the-Loop, artificial intelligence, electron microscopy, computer vision.*

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de muestras microscópicas constituye una actividad fundamental en diversas áreas de investigación científica, particularmente en disciplinas relacionadas con microbiología, biotecnología, nanotecnología y ciencia de materiales. En estos contextos, las personas investigadoras requieren identificar, cuantificar y caracterizar objetos de interés presentes en imágenes obtenidas mediante diferentes técnicas de microscopía. Sin embargo, gran parte de estas actividades continúan realizándose de forma manual mediante herramientas de propósito general, lo que implica una inversión considerable de tiempo y puede introducir variabilidad asociada a la experiencia de cada especialista (Moen *et al*., 2019; Greenwald *et al*., 2021).

Durante los últimos años, las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) han permitido incorporar nuevas capacidades para el análisis automatizado de imágenes científicas mediante la integración de técnicas de procesamiento digital de imágenes, visión por computadora e inteligencia artificial. Particularmente, las redes neuronales artificiales han demostrado resultados favorables en tareas relacionadas con segmentación, clasificación, detección de objetos y reconocimiento de patrones presentes en imágenes biomédicas y microscópicas (LeCun *et al*., 2015; Moen *et al*., 2019). Asimismo, arquitecturas como U-Net y YOLO han ampliado las posibilidades de automatización en problemas donde existe una elevada complejidad visual o una amplia variabilidad entre las muestras analizadas (Ronneberger *et al*., 2015; Redmon *et al*., 2016).

En el Instituto Politécnico Nacional, personas investigadoras de diferentes áreas emplean imágenes digitales obtenidas mediante microscopía para el estudio de microorganismos y nanopartículas. Durante el desarrollo de sus investigaciones, se identificó la necesidad de contar con herramientas tecnológicas capaces de apoyar actividades relacionadas con la identificación, conteo y caracterización de objetos microscópicos, debido a que los procedimientos existentes requerían múltiples tareas manuales para segmentar imágenes, medir partículas y registrar resultados para su posterior análisis.

Con la finalidad de atender esta necesidad, en el marco de los proyectos de investigación SIP 20242607 y SIP 20250669, se desarrolló una línea de trabajo orientada al aprovechamiento de TIC basadas en inteligencia artificial para apoyar el análisis de muestras microscópicas digitalizadas. Durante una primera etapa del proyecto, se investigaron y evaluaron diversas estrategias para el reconocimiento automático de microorganismos tipo cocos a partir de imágenes obtenidas mediante microscopía. Esta fase permitió analizar diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales, estrategias de segmentación y mecanismos de detección de patrones, generando una base tecnológica para el desarrollo de soluciones orientadas al análisis microscópico.

Posteriormente, derivado de la disponibilidad de nuevos conjuntos de datos y de las necesidades planteadas por personas investigadoras especializadas en nanotecnología, la solución tecnológica evolucionó hacia el reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica. Esta evolución permitió reutilizar parte del conocimiento generado durante la primera etapa e incorporar nuevas capacidades relacionadas con la detección automática de escalas,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 12 - 37

la obtención de características morfológicas y el procesamiento de imágenes con mayor nivel de complejidad visual.

El objetivo de este trabajo consistió en diseñar e implementar una herramienta TIC basada en aprendizaje de máquina y procesamiento digital de imágenes para apoyar a personas investigadoras en la identificación, conteo y caracterización de nanopartículas presentes en muestras microscópicas digitalizadas, integrando técnicas de inteligencia artificial, visión por computadora y mecanismos de validación especializados que fortalecieran las actividades de análisis desarrolladas en entornos de investigación científica.

2. DESARROLLO TÉCNICO

2.1 INVESTIGACIÓN Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA EL ANÁLISIS MICROSCÓPICO

El desarrollo de una herramienta TIC para apoyar actividades de investigación relacionadas con el análisis de muestras microscópicas requirió inicialmente identificar las necesidades específicas de los usuarios finales y, posteriormente, evaluar diferentes tecnologías capaces de atender dichos requerimientos. En este contexto, se llevaron a cabo reuniones de trabajo con especialistas dedicados al estudio de microorganismos y nanopartículas, con la finalidad de documentar los procedimientos empleados durante la identificación, conteo y caracterización de objetos presentes en imágenes microscópicas digitalizadas.

Como resultado de este análisis, se identificó que las personas investigadoras realizaban múltiples actividades manuales para segmentar imágenes, localizar objetos de interés, estimar cantidades, determinar escalas de referencia y obtener características morfológicas utilizadas en estudios experimentales posteriores. Asimismo, se observó que la utilización de herramientas de propósito general requería una intervención constante del usuario, particularmente cuando se trabajaba con conjuntos numerosos de imágenes o cuando los objetos presentaban alta variabilidad morfológica. Situaciones similares han sido reportadas en aplicaciones de análisis microscópico y biomédico, donde las tareas de segmentación y caracterización continúan dependiendo significativamente de la supervisión humana (Moen *et al.*, 2019; Greenwald *et al.*, 2021).

En consecuencia, se estableció como necesidad principal el desarrollo de una solución tecnológica que permitiera automatizar parcialmente dichas actividades mediante la integración de técnicas de inteligencia artificial, procesamiento digital de imágenes y visión por computadora. Para ello, se definieron los siguientes requerimientos funcionales:

- Identificación automática de objetos de interés.
- Apoyo al conteo de partículas presentes en una imagen.
- Detección automática de referencias de escala.
- Obtención de características morfológicas.
- Visualización de resultados en una interfaz integrada.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 13 - 37

- Reducción de actividades repetitivas realizadas por el investigador.

Posteriormente, se realizó una investigación de diversas TIC utilizadas en problemas similares dentro de los ámbitos de visión por computadora, análisis de imágenes biomédicas y reconocimiento automático de patrones. Esta actividad permitió identificar alternativas potencialmente aplicables al problema de estudio, las cuales fueron analizadas considerando precisión, capacidad de adaptación, complejidad de implementación y pertinencia para trabajar con conjuntos de datos especializados.

Inicialmente se evaluaron técnicas de segmentación tradicional basadas en procesamiento digital de imágenes. Entre ellas, destacó el algoritmo Watershed, ampliamente utilizado para separar regiones con diferentes niveles de intensidad. Su principal ventaja consistió en la capacidad de segmentar objetos cercanos entre sí; sin embargo, durante las pruebas preliminares, se observó una tendencia a generar sobresegmentación cuando las imágenes presentaban ruido o contornos poco definidos. Por esta razón, su utilización se consideró principalmente como apoyo para etapas de preprocesamiento (Meyer, 1994; Meijering, 2012).

De manera complementaria, se analizaron enfoques de conteo independiente de clase (*Class-Agnostic Counting*), los cuales permiten estimar cantidades de objetos utilizando ejemplos visuales representativos sin necesidad de construir clasificadores específicos para cada categoría. Aunque estos métodos mostraron flexibilidad para adaptarse a distintos tipos de imágenes, su desempeño dependía significativamente de la calidad y representatividad de las muestras empleadas durante el entrenamiento, situación que limitaba su aplicabilidad en escenarios con conjuntos de datos reducidos (Lu *et al*., 2018).

Posteriormente, se investigaron arquitecturas de redes neuronales convolucionales utilizadas en aplicaciones de análisis microscópico. Particularmente, la arquitectura U-Net resultó de interés debido a su amplio uso en segmentación semántica de imágenes biomédicas (Ronneberger *et al*., 2015). Las pruebas realizadas demostraron que esta tecnología permitía identificar regiones de interés con un nivel adecuado de precisión cuando los objetos presentaban una delimitación visual clara. No obstante, conforme aumentaba la densidad de partículas o existía superposición entre ellas, la separación individual de objetos se volvía más compleja.

Por otra parte, se evaluaron modelos de detección de objetos pertenecientes a la familia YOLO (*You Only Look Once*), ampliamente utilizados en aplicaciones de visión por computadora debido al equilibrio que ofrecen entre velocidad de procesamiento y precisión de detección. Durante la investigación, se observó que esta tecnología resultaba particularmente adecuada para localizar elementos específicos dentro de una imagen y reconocer patrones asociados a referencias de escala y objetos de interés. Además, la posibilidad de aprovechar técnicas de transferencia de aprendizaje permitió su aplicación en escenarios donde la disponibilidad de datos etiquetados era limitada (Jin *et al*., 2024; Kumar *et al*., 2024).

A partir de la comparación realizada, se determinó que ninguna tecnología evaluada resultaba suficiente de forma aislada para atender los requerimientos identificados. Por consiguiente, se optó por una estrategia de integración tecnológica que combinó procesamiento digital de imágenes para el tratamiento inicial de las muestras, técnicas de segmentación para la delimitación de regiones de interés y redes neuronales artificiales para tareas de reconocimiento automático. Esta decisión constituyó la base para el diseño posterior de la herramienta TIC desarrollada durante el proyecto.

Finalmente, la investigación realizada permitió establecer una arquitectura tecnológica susceptible de evolucionar conforme se incorporaran nuevos conjuntos de datos y necesidades de análisis. De esta

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 14 - 37

manera, los resultados obtenidos durante la etapa orientada al reconocimiento de microorganismos se convirtieron en el fundamento tecnológico sobre el cual posteriormente se desarrollaron las capacidades especializadas para el reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas.

Una vez identificados los requerimientos funcionales y seleccionadas las tecnologías con mayor potencial de aplicación, se procedió al diseño de una solución TIC orientada a apoyar actividades de investigación relacionadas con la identificación, conteo y caracterización de objetos microscópicos. En este sentido, el diseño se enfocó en integrar en una única herramienta capacidades de procesamiento digital de imágenes, visión por computadora y aprendizaje de máquina, con el propósito de reducir las tareas manuales realizadas por las personas investigadoras durante el análisis de muestras microscópicas digitalizadas.

Inicialmente, la arquitectura fue concebida para apoyar el reconocimiento automático de microorganismos presentes en imágenes obtenidas mediante microscopía óptica; sin embargo, como resultado de la evolución del proyecto y de las nuevas necesidades planteadas por especialistas en nanotecnología, el diseño fue adaptado para incorporar funcionalidades orientadas al reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica. Esta evolución permitió reutilizar componentes previamente desarrollados y ampliar las capacidades de la solución tecnológica sin modificar su estructura fundamental.

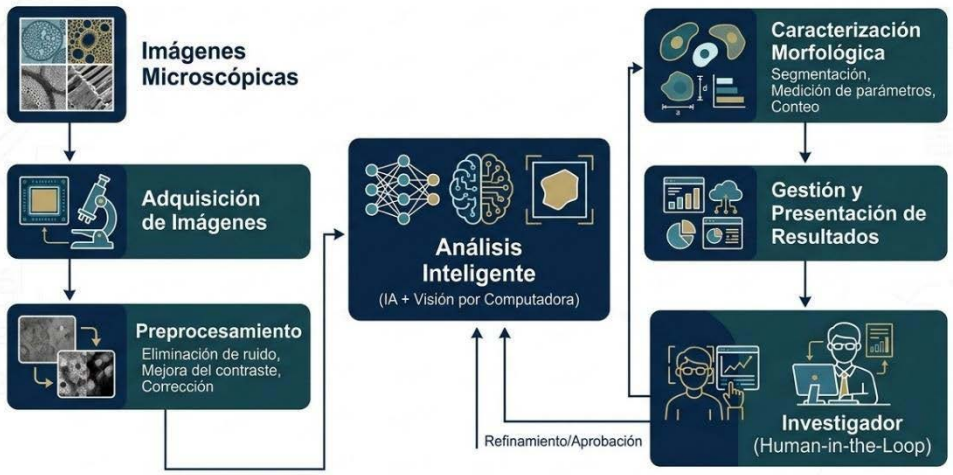
Precisamente durante el diseño de la estrategia, surge una problemática frecuente en el proceso de diseño de *software* asistido con algoritmos de reconocimiento de patrones: la disponibilidad de los conjuntos de datos (*data set*). En áreas como el análisis de muestras microscópicas de organismos, microorganismos, partículas, nanopartículas y células, entre otras, la generación u obtención de estos recursos (muestras) se vuelve una limitante. Para subsanar esta brecha, se emplean diferentes estrategias, tales como el aumento de datos o la generación de datos sintéticos; sin embargo, no siempre se logra un resultado favorable. Esta situación confirmó que la intervención del especialista es crucial para avanzar en el logro de los objetivos. El concepto, conocido como *Human In The Loop* (HITL), fue adoptado como parte de la estrategia diseñada.

Por consiguiente, se estableció una arquitectura modular basada en cinco componentes principales: adquisición de imágenes, preprocesamiento, análisis inteligente, caracterización de objetos y gestión de resultados. Asimismo, se incorporó el esquema para la intervención del investigador en la validación de los resultados, lo cual transformó la estrategia al agregarle un ciclo recursivo fundamental para realizar el ajuste y adecuación del modelo de reconocimiento. En la Figura 1, se presenta la arquitectura general de la herramienta desarrollada en el proyecto.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 15 - 37

Figura 1

Esquema de la arquitectura general de la herramienta TIC desarrollada para el análisis de nanopartículas



Además, la división en módulos independientes tuvo como finalidad facilitar la incorporación de nuevas tecnologías y permitir la evolución progresiva de la herramienta conforme se dispusiera de nuevos conjuntos de datos o requerimientos de investigación.

2.1.1 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El primer componente se diseñó para gestionar la incorporación de imágenes digitales provenientes de diferentes técnicas de microscopía. Su función consiste en recibir, organizar y preparar las muestras que serán procesadas por el sistema.

Adicionalmente, este módulo permite verificar la integridad de los archivos, identificar formatos compatibles y centralizar la información utilizada durante los procesos de entrenamiento, validación y análisis experimental. De esta manera, se garantiza que las etapas posteriores trabajen sobre datos consistentes y adecuadamente estructurados.

2.1.2 MÓDULO DE PREPROCESAMIENTO

Posteriormente, las imágenes son enviadas a un módulo de preprocesamiento, encargado de mejorar la calidad visual de las muestras antes de su análisis. Para ello, se incorporaron técnicas de procesamiento digital de imágenes orientadas a reducir ruido, mejorar contraste y favorecer la delimitación de objetos de interés.

Entre las operaciones consideradas, se encuentran la conversión a escala de grises, la aplicación de filtros de mediana y diversas operaciones morfológicas. Estas técnicas permitieron resaltar estructuras relevantes y generar representaciones más adecuadas para las etapas posteriores de segmentación y detección automática.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 16 - 37

Asimismo, este módulo constituye una primera capa de normalización que contribuye a disminuir la variabilidad presente entre imágenes obtenidas bajo distintas condiciones de adquisición.

2.1.3 MÓDULO DE ANÁLISIS INTELIGENTE

El componente central de la solución TIC corresponde al módulo de análisis inteligente. Este elemento integra tecnologías basadas en inteligencia artificial y visión por computadora para realizar tareas relacionadas con segmentación, reconocimiento de patrones y detección automática de objetos.

Durante el desarrollo de la herramienta, se evaluaron diferentes enfoques tecnológicos. Como resultado, se seleccionó una estrategia híbrida que combina técnicas tradicionales de procesamiento digital de imágenes con arquitecturas basadas en redes neuronales convolucionales. Esta integración permitió aprovechar las fortalezas de ambos enfoques, utilizando algoritmos especializados según las características particulares de cada problema.

Por una parte, se incorporaron procedimientos de segmentación orientados a identificar regiones de interés dentro de las imágenes. Por otra, se utilizaron modelos de detección de objetos para localizar elementos específicos relacionados con referencias de escala y partículas presentes en las muestras.

De manera complementaria, la arquitectura fue diseñada para permitir futuras actualizaciones de los modelos de aprendizaje de máquina, facilitando el reentrenamiento con nuevos conjuntos de datos y la incorporación de mejoras derivadas de investigaciones posteriores.

2.1.4 MÓDULO DE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Una vez identificados los objetos presentes en la imagen, la información obtenida se transfiere al módulo de caracterización morfológica. Este componente fue diseñado para calcular atributos geométricos utilizados habitualmente por las personas investigadoras durante el análisis experimental.

Entre los parámetros obtenidos, se incluyen área, perímetro, longitud, anchura y otras medidas asociadas con la morfología de las partículas observadas en las muestras. Para ello, el sistema aprovecha la información generada por los modelos de detección y segmentación, así como los factores de conversión derivados de la identificación automática de escalas.

Gracias a esta funcionalidad, la herramienta permite transformar información visual en datos cuantitativos, susceptibles de ser incorporados a procedimientos de investigación, análisis estadístico y validación experimental.

2.1.5 MÓDULO DE GESTIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Finalmente, se diseñó un módulo encargado de concentrar y presentar la información obtenida durante el procesamiento. Este componente proporciona al investigador una interfaz unificada, desde la cual es posible visualizar imágenes, revisar resultados de segmentación, consultar características morfológicas y generar información de apoyo para estudios posteriores.

Asimismo, el módulo facilita la interacción entre el especialista y la herramienta TIC, permitiendo validar resultados y complementando las capacidades de automatización proporcionadas por los algoritmos de inteligencia artificial. En este sentido, la solución fue concebida como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones y no como un sustituto del conocimiento especializado de las personas investigadoras.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 17 - 37

En consecuencia, el diseño adoptado favorece esquemas de trabajo donde las capacidades de aprendizaje de máquina se combinan con la experiencia humana para mejorar progresivamente la calidad de los resultados obtenidos. Esta característica adquirió particular relevancia durante las fases de validación del proyecto, donde la participación activa de especialistas permitió identificar oportunidades de mejora y refinar los procedimientos implementados.

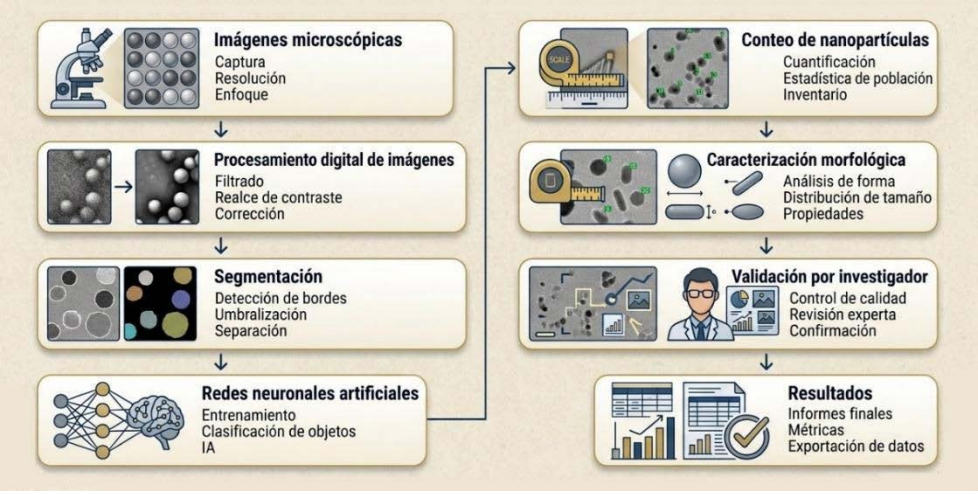
2.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TIC

Una vez definida la arquitectura general de la solución, se procedió a la implementación de una herramienta TIC capaz de integrar los componentes tecnológicos seleccionados durante las etapas de investigación y diseño. En este sentido, el propósito principal consistió en proporcionar a las personas investigadoras una plataforma que concentrara en un único entorno de trabajo las actividades relacionadas con la carga de imágenes, el procesamiento automático, la detección de objetos y la caracterización morfológica.

Para lograr lo anterior, la herramienta fue desarrollada bajo un esquema modular que favoreciera la reutilización de componentes y facilitara la incorporación de nuevas funcionalidades conforme evolucionaran las necesidades de los grupos de investigación participantes. En la Figura 2, se presenta un esquema de la organización de las tecnologías implementadas en el proyecto.

Figura 2

Integración de tecnologías implementadas en la herramienta TIC



Nota. Imagen generada mediante el asistente de inteligencia artificial Gemini (utilizando el modelo Banana 2). Para su elaboración, se le proporcionó como referencia un diagrama esquemático dibujado a mano por los autores y se integraron algunos recursos gráficos de uso libre provenientes de Flaticon para lograr la composición final del esquema.

Asimismo, se consideró la compatibilidad con conjuntos de datos provenientes de diferentes técnicas de microscopía y la posibilidad de integrar futuros modelos de aprendizaje de máquina.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 18 - 37

2.2.1 IMPLEMENTACIÓN DE CAPACIDADES DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Se implementaron inicialmente diversas funcionalidades orientadas al tratamiento previo de las imágenes de entrada. Estas capacidades constituyeron la base de los procesos posteriores de segmentación y reconocimiento automático.

Entre las operaciones incorporadas, se incluyeron mecanismos para:

- conversión de imágenes a escala de grises;
- aplicación de filtros para reducción de ruido;
- ajuste de contraste;
- detección de bordes;
- operaciones morfológicas de erosión y dilatación.

En consecuencia, las imágenes pudieron normalizarse antes de ser analizadas por los modelos de inteligencia artificial, contribuyendo a disminuir variaciones derivadas de las condiciones de adquisición de las muestras.

Adicionalmente, la integración de estas técnicas permitió mejorar la delimitación visual de regiones de interés y favorecer la estabilidad de los algoritmos utilizados durante las etapas posteriores del procesamiento.

2.2.2 IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Posteriormente, se incorporaron capacidades basadas en inteligencia artificial para apoyar tareas de reconocimiento automático de patrones presentes en las imágenes.

Durante el proyecto, fueron evaluadas diversas arquitecturas de redes neuronales artificiales. Como resultado de esta investigación, la implementación final integró modelos de redes neuronales convolucionales debido a su capacidad para extraer características visuales complejas y detectar patrones difíciles de identificar mediante técnicas tradicionales.

Asimismo, se incorporaron estrategias de transferencia de aprendizaje que permitieron aprovechar modelos previamente entrenados y adaptarlos a conjuntos de datos específicos del dominio de aplicación. Esta característica resultó particularmente importante debido a la disponibilidad limitada de imágenes etiquetadas, situación frecuente en proyectos de investigación altamente especializados (Divya y Tripathy, 2024; Omoniyi *et al*., 2025).

Por otra parte, la arquitectura fue diseñada para permitir el reemplazo o actualización de los modelos sin afectar el resto de los componentes de la herramienta. De esta manera, se favorece la evolución futura de la solución tecnológica conforme aparezcan nuevas técnicas o conjuntos de datos adicionales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 19 - 37

2.2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE ESCALAS

Uno de los componentes funcionales más relevantes incorporados durante la evolución de la herramienta correspondió al reconocimiento automático de referencias de escala presentes en las micrografías.

Previamente, esta actividad era realizada manualmente por las personas investigadoras, quienes debían identificar la barra de referencia y determinar la relación de conversión necesaria para efectuar mediciones reales sobre las partículas observadas.

Por consiguiente, se integró un procedimiento que combina técnicas de visión por computadora y modelos de detección de objetos para localizar automáticamente la barra de escala y reconocer su valor asociado. Como resultado, la herramienta puede calcular factores de conversión que posteriormente son utilizados durante la obtención de medidas morfológicas.

La automatización de esta tarea permitió reducir actividades repetitivas y mejorar la consistencia de las mediciones generadas durante el análisis experimental.

2.2.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS

Como resultado de la evolución de la solución hacia aplicaciones orientadas a nanotecnología, se desarrollaron funcionalidades específicas para apoyar el análisis de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica.

Estas capacidades incluyen:

- identificación preliminar de partículas;
- conteo automatizado;
- delimitación de regiones de interés;
- cálculo de parámetros morfológicos;
- generación de información para análisis posteriores.

En este sentido, la integración entre procesamiento digital de imágenes y modelos de inteligencia artificial permitió construir un flujo de trabajo capaz de transformar imágenes microscópicas en información cuantitativa útil para las personas investigadoras.

De igual manera, la herramienta fue diseñada para presentar los resultados de manera visual y facilitar la validación por parte de especialistas, permitiendo revisar las detecciones realizadas por el sistema antes de incorporar la información a procesos de investigación posteriores.

2.2.5 INTEGRACIÓN DEL INVESTIGADOR EN EL PROCESO DE ANÁLISIS

Durante la implementación, se identificó que la utilización de inteligencia artificial no elimina la necesidad de participación humana en escenarios científicos altamente especializados. Por el contrario,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 20 - 37

la experiencia obtenida mostró que la intervención del investigador continúa siendo fundamental para validar resultados, verificar detecciones y retroalimentar el funcionamiento de la herramienta.

Debido a ello, la solución fue concebida bajo un esquema de colaboración entre las capacidades de automatización proporcionadas por los algoritmos y el conocimiento especializado de los usuarios finales. Como consecuencia, las personas investigadoras pueden supervisar el procesamiento realizado por la herramienta, validar los objetos identificados y utilizar esta información para mejorar progresivamente la calidad de los resultados obtenidos.

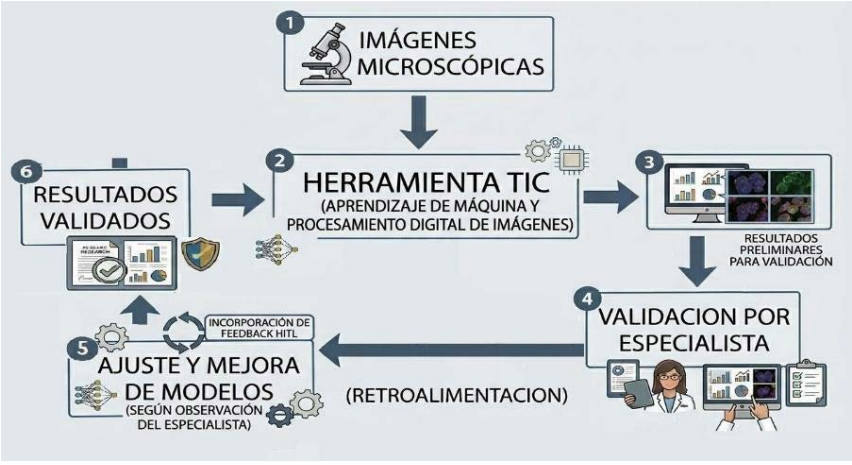
En otras palabras, la implementación favorece un enfoque cercano al paradigma *Human-in-the-Loop*, donde la experiencia del especialista complementa las capacidades de aprendizaje de máquina, particularmente cuando los conjuntos de datos disponibles son limitados o presentan un elevado grado de especialización.

2.3 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA TIC

Una vez implementadas las funcionalidades principales de la herramienta TIC, se llevó a cabo un proceso de validación orientado a verificar su utilidad como apoyo para actividades de investigación relacionadas con el análisis de imágenes microscópicas. En este sentido, la validación no se limitó a evaluar el desempeño de algoritmos individuales, sino que buscó determinar la capacidad de la solución tecnológica para integrarse dentro de los procedimientos de trabajo utilizados por las personas investigadoras durante el reconocimiento, conteo y caracterización de objetos presentes en muestras digitalizadas. En la Figura 3, se muestra el esquema de trabajo colaborativo planteado para el uso de la herramienta desarrollada.

Figura 3

Esquema de validación colaborativa de la herramienta TIC



Inicialmente, las actividades de validación se desarrollaron utilizando conjuntos de imágenes correspondientes al reconocimiento de microorganismos tipo cocos. Esta primera etapa permitió evaluar la viabilidad de las tecnologías seleccionadas, así como analizar el comportamiento de diferentes técnicas de segmentación, clasificación y reconocimiento de patrones sobre imágenes obtenidas mediante

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 21 - 37

microscopía óptica. Asimismo, sirvió para identificar limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos etiquetados y la necesidad de contar con mecanismos de supervisión por parte de especialistas.

Posteriormente, como resultado de la evolución del proyecto y de la incorporación de nuevas necesidades de investigación, la validación se orientó hacia el análisis de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica. Esta transición permitió aprovechar la base tecnológica desarrollada previamente e incorporar nuevas capacidades relacionadas con la detección automática de escalas, la estimación de medidas reales y la caracterización morfológica de partículas.

En consecuencia, durante el proyecto, se trabajó con cantidades reducidas de imágenes comparadas con las utilizadas habitualmente en aplicaciones comerciales de aprendizaje profundo. Esta situación motivó la evaluación de estrategias como transferencia de aprendizaje, aumento de datos y validación iterativa por especialistas. Asimismo, impulsó la incorporación de mecanismos de interacción humano-máquina dentro de la herramienta TIC, permitiendo complementar las capacidades de los algoritmos mediante la participación activa de las personas investigadoras durante procesos de validación y refinamiento de resultados.

Durante la primera fase, los conjuntos de datos estuvieron compuestos por imágenes de microorganismos utilizadas para la experimentación inicial con algoritmos de reconocimiento y segmentación. Posteriormente, la validación se centró en imágenes de nanopartículas de tungsteno obtenidas mediante microscopía electrónica, debido a que estas muestras contaban con referencias de escala y criterios de validación previamente establecidos por especialistas.

Antes de ser utilizadas por la herramienta, las imágenes fueron revisadas con el fin de verificar su calidad, resolución y pertinencia para las tareas de análisis definidas. Asimismo, se documentaron las características de los objetos de interés y las condiciones particulares de adquisición de cada conjunto de datos.

2.3.1 PARTICIPACIÓN DE ESPECIALISTAS DURANTE LA VALIDACIÓN

Un aspecto relevante del proceso consistió en la participación directa de especialistas del dominio de aplicación. Su intervención permitió documentar los procedimientos empleados habitualmente para realizar conteos, mediciones y caracterizaciones de forma manual, estableciendo así una referencia para contrastar los resultados obtenidos mediante la herramienta TIC.

Además, los especialistas colaboraron en la selección de muestras representativas, la validación de objetos identificados por los algoritmos y la interpretación de los resultados generados por el sistema. Gracias a esta participación, fue posible detectar situaciones donde los modelos requerían ajustes adicionales, particularmente en imágenes que presentaban partículas superpuestas, bajo contraste o elevada complejidad visual. Este tipo de validación colaborativa ha sido reportado como una práctica efectiva para mejorar la calidad y confiabilidad de soluciones basadas en inteligencia artificial aplicadas al análisis de imágenes científicas (Greenwald *et al.*, 2021).

Por consiguiente, la validación no se concibió únicamente como una comparación entre resultados automáticos y mediciones manuales, sino como un proceso iterativo de retroalimentación orientado al perfeccionamiento progresivo de la solución tecnológica.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 22 - 37

2.3.2 CRITERIOS DE VALIDACIÓN

Con la finalidad de evaluar el desempeño de la herramienta, se definieron criterios asociados a las principales funcionalidades implementadas.

En primer lugar, se verificó la capacidad de la solución para reconocer automáticamente referencias de escala presentes en las imágenes, ya que éstas constituyen un elemento indispensable para la obtención de mediciones en unidades reales.

En segundo lugar, se evaluó la identificación preliminar de nanopartículas mediante la comparación con observaciones realizadas por especialistas. Este análisis permitió determinar la capacidad de la herramienta para localizar regiones de interés susceptibles de ser analizadas posteriormente.

Finalmente, se revisó la consistencia de los parámetros morfológicos obtenidos por el sistema. Para ello, se compararon las mediciones generadas automáticamente con los procedimientos habitualmente utilizados durante el análisis manual de muestras.

2.3.3 VALIDACIÓN BAJO UN ENFOQUE DE COLABORACIÓN HUMANO-MÁQUINA

Durante la ejecución del proyecto, se observó que la participación de las personas investigadoras resultaba fundamental para garantizar la calidad de los resultados obtenidos. Aunque los algoritmos de inteligencia artificial permitieron automatizar diversas actividades relacionadas con el análisis de imágenes, la experiencia de los especialistas continuó siendo indispensable para validar detecciones, interpretar resultados y proporcionar criterios de mejora para los modelos utilizados.

En consecuencia, la validación de la herramienta evolucionó hacia un esquema de colaboración donde las capacidades de procesamiento y reconocimiento proporcionadas por la inteligencia artificial fueron complementadas por el conocimiento especializado de las personas investigadoras. Esta interacción permitió corregir resultados, identificar casos no contemplados inicialmente y mejorar progresivamente el comportamiento de los modelos a partir de la retroalimentación obtenida durante las pruebas. Este principio es consistente con los enfoques *Human-in-the-Loop*, en los cuales la participación activa de especialistas contribuye al entrenamiento, validación y mejora continua de sistemas basados en aprendizaje de máquina (Amershi *et al.*, 2014).

Asimismo, la experiencia adquirida evidenció que los enfoques basados exclusivamente en automatización presentan limitaciones cuando se trabaja con conjuntos de datos reducidos o altamente especializados, situación frecuente en proyectos de investigación científica. Por esta razón, se identificó que la integración de mecanismos de supervisión y validación por parte del usuario constituye un elemento estratégico para incrementar la confiabilidad de las soluciones basadas en aprendizaje de máquina.

Esta situación estuvo directamente relacionada con las condiciones de adquisición de datos propias del dominio de aplicación. En particular, la obtención de imágenes de nanopartículas requiere procesos de caracterización especializados mediante técnicas como Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) o Dispersión Dinámica de Luz (DLS), cuyo acceso suele depender de la disponibilidad de infraestructura altamente especializada. En consecuencia, los conjuntos de datos disponibles fueron significativamente menores a los utilizados habitualmente en aplicaciones comerciales de aprendizaje profundo. Debido a ello, se evaluaron estrategias como transferencia de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 23 - 37

aprendizaje, aumento de datos y mecanismos de interacción humano-máquina para fortalecer el desempeño de la herramienta TIC.

La incorporación del módulo *Human-in-the-Loop* no respondió únicamente a una decisión de diseño orientada a mejorar la experiencia de uso. Por el contrario, constituyó una evolución natural de la herramienta TIC, derivada de los resultados obtenidos durante las distintas etapas del proyecto. Conforme se incrementó la complejidad de las muestras analizadas y se evidenciaron las limitaciones asociadas a conjuntos de datos especializados, surgió la necesidad de integrar mecanismos que permitieran aprovechar simultáneamente las capacidades de automatización proporcionadas por la inteligencia artificial y el conocimiento experto de las personas investigadoras. En muestras particularmente complejas, el investigador puede seleccionar manualmente las nanopartículas de interés, mientras que el sistema realiza automáticamente el conteo y la caracterización morfológica. De esta manera, la herramienta combina el conocimiento especializado del usuario con las capacidades de automatización proporcionadas por la inteligencia artificial.

En suma, el proceso de validación permitió confirmar que la herramienta TIC desarrollada puede apoyar significativamente actividades de identificación, conteo y caracterización de nanopartículas; sin embargo, también mostró que los mejores resultados se obtienen cuando las capacidades de inteligencia artificial operan de manera complementaria al conocimiento de los especialistas. Esta experiencia sentó las bases para la adopción futura de enfoques *Human-in-the-Loop* orientados a fortalecer la calidad y confiabilidad de los procesos de análisis microscópico asistidos por TIC.

2.4 EVOLUCIÓN DE LA HERRAMIENTA TIC PARA EL ANÁLISIS DE NANOPARTÍCULAS

Uno de los aspectos más relevantes del proyecto fue la evolución progresiva de la herramienta TIC conforme aumentó el conocimiento adquirido sobre las necesidades de las personas investigadoras y las características particulares de los conjuntos de datos analizados. En este sentido, la solución tecnológica no fue concebida como un producto terminado desde el inicio, sino como una plataforma susceptible de incorporar nuevas funcionalidades a partir de los resultados obtenidos durante las distintas etapas de investigación.

Inicialmente, la herramienta se desarrolló para apoyar actividades relacionadas con el reconocimiento de microorganismos tipo cocos presentes en imágenes digitalizadas obtenidas mediante microscopía óptica. Durante esta fase se investigaron diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes y arquitecturas de redes neuronales artificiales orientadas a la clasificación y reconocimiento automático de patrones microscópicos. Como resultado, se establecieron los primeros componentes funcionales de la solución, incluyendo mecanismos para la carga de imágenes, el preprocesamiento de muestras y la integración de modelos basados en aprendizaje profundo.

Posteriormente, la disponibilidad de nuevos conjuntos de datos y la participación de personas investigadoras especializadas en nanotecnología permitieron extender el alcance de la herramienta hacia problemas relacionados con el análisis de nanopartículas observadas mediante microscopía electrónica. Debido a las diferencias existentes entre ambos dominios de aplicación, fue necesario adaptar los componentes tecnológicos previamente desarrollados e incorporar nuevas capacidades orientadas al reconocimiento, conteo y caracterización morfológica de partículas.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 24 - 37

En consecuencia, la arquitectura evolucionó para integrar algoritmos especializados de detección de objetos, mecanismos para el reconocimiento automático de referencias de escala y procedimientos para la obtención de medidas expresadas en unidades físicas reales. Asimismo, se fortalecieron los procesos de segmentación y análisis de imágenes con el propósito de responder a escenarios caracterizados por una mayor densidad de objetos, presencia de partículas superpuestas y variaciones significativas de contraste.

De igual manera, la evolución de la herramienta permitió integrar funciones de apoyo a la toma de decisiones por parte de las personas investigadoras. En lugar de limitarse a generar resultados automáticos, la solución fue diseñada para proporcionar información visual y cuantitativa que pudiera ser revisada y validada por especialistas. Por consiguiente, el sistema se consolidó como una herramienta de asistencia al análisis y no como un mecanismo orientado a sustituir el criterio de los usuarios finales.

Un aspecto particularmente importante de esta evolución tecnológica fue la incorporación gradual de capacidades basadas en inteligencia artificial. Mientras que las primeras versiones dependían principalmente de técnicas tradicionales de procesamiento digital de imágenes, las versiones posteriores integraron modelos de redes neuronales convolucionales capaces de reconocer patrones complejos y automatizar tareas específicas del flujo de trabajo. De esta manera, la solución logró combinar algoritmos de visión por computadora con mecanismos de interacción humana, favoreciendo procesos de análisis más eficientes y confiables.

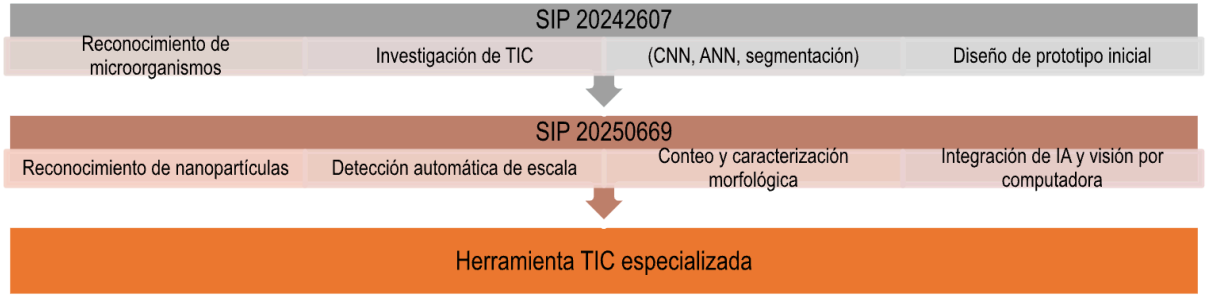
Asimismo, la experiencia adquirida durante el proyecto permitió identificar que la calidad de los resultados obtenidos no dependía exclusivamente de la precisión de los algoritmos implementados, sino también de la colaboración permanente entre especialistas y herramientas computacionales. Por esta razón, la evolución funcional de la plataforma se orientó progresivamente hacia esquemas donde la inteligencia artificial apoyara al investigador durante actividades repetitivas, manteniendo la supervisión humana sobre las decisiones críticas del proceso de análisis.

Finalmente, la evolución experimentada por la herramienta TIC permitió transformar una solución inicialmente orientada al reconocimiento de microorganismos en una plataforma especializada para el análisis de nanopartículas. En consecuencia, el proyecto no sólo generó conocimiento relacionado con el uso de técnicas de inteligencia artificial en imágenes microscópicas, sino que también produjo una herramienta tecnológica capaz de apoyar actividades de investigación científica mediante la integración de procesamiento digital de imágenes, visión por computadora y aprendizaje de máquina. En la Figura 4, se presentan las principales características que evolucionaron a lo largo del desarrollo del proyecto hasta llegar a la conformación de la herramienta final.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 25 - 37

Figura 4

Evolución de la herramienta TIC desarrollada durante los proyectos SIP



En suma, el desarrollo de la herramienta TIC permitió integrar diversas tecnologías de inteligencia artificial, procesamiento digital de imágenes y visión por computadora dentro de una solución orientada a apoyar actividades de investigación científica. A partir de esta base tecnológica, fue posible evaluar su funcionamiento mediante conjuntos de imágenes representativas y analizar los beneficios obtenidos durante el reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas, aspectos que se presentan en el siguiente apartado.

3. RESULTADOS

La implementación de la herramienta TIC permitió integrar en una única plataforma diversas capacidades asociadas con procesamiento digital de imágenes, visión por computadora e inteligencia artificial para apoyar actividades de investigación relacionadas con el análisis de nanopartículas. Como resultado de esta integración, fue posible automatizar parcialmente tareas que tradicionalmente eran realizadas de forma manual, tales como la identificación de referencias de escala, el conteo preliminar de partículas y la obtención de características morfológicas.

Asimismo, los resultados obtenidos evidenciaron la viabilidad de aprovechar tecnologías basadas en aprendizaje de máquina para asistir a personas investigadoras durante el procesamiento y análisis de imágenes microscópicas digitalizadas. En consecuencia, la herramienta desarrollada se convirtió en un apoyo para la generación de información cuantitativa utilizada en procesos de investigación científica.

3.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

Como parte de la investigación tecnológica realizada durante el proyecto, se evaluaron diferentes alternativas para atender las necesidades identificadas por las personas investigadoras. La comparación incluyó algoritmos de segmentación, conteo y detección de objetos, considerando criterios relacionados con precisión, capacidad de adaptación y facilidad de integración dentro de la solución propuesta. En la Tabla 1, se presentan las principales características de cada herramienta de TIC evaluada.

Los resultados obtenidos indicaron que cada tecnología presentaba ventajas específicas para determinadas tareas. Por ejemplo, Watershed resultó útil para la delimitación inicial de regiones de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 26 - 37

interés, mientras que U-Net ofreció resultados favorables en problemas de segmentación semántica. Por otra parte, los enfoques de conteo independiente de clase mostraron potencial para estimar cantidades de objetos utilizando ejemplos representativos.

Sin embargo, ninguna de las TIC evaluadas fue capaz de resolver por sí sola todas las necesidades planteadas por los usuarios finales. Por esta razón, se decidió integrar diferentes tecnologías dentro de una arquitectura híbrida que combinara procesamiento digital de imágenes, segmentación y detección de objetos mediante inteligencia artificial.

Tabla 1

Comparación de TIC evaluadas para apoyar el análisis microscópico

Estrategia	Ventaja principal	Limitación observada	Resultado de la evaluación
Watershed	Buena segmentación de regiones	Sensible al sobresegmentado	Útil para preprocesamiento
Class-Agnostic Counting	Conteo independiente de clase	Dependencia del ejemplo suministrado	Evaluado como alternativa
YOLO	Detección eficiente de objetos	Requiere entrenamiento supervisado	Seleccionado para reconocimiento automático
U-Net	Segmentación semántica detallada	Limitaciones en partículas superpuestas	Utilizado para análisis de segmentación

Nota. Tabla elaborada a partir de la evaluación metodológica realizada durante el proyecto de investigación.

A partir de esta evaluación, se seleccionó una combinación tecnológica que posteriormente fue incorporada a la herramienta desarrollada para apoyar tareas de reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas.

3.2 RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE REFERENCIAS DE ESCALA

Uno de los principales beneficios obtenidos mediante la incorporación de inteligencia artificial y visión por computadora fue la automatización del proceso de reconocimiento de referencias de escala presentes en las micrografías. En el apartado (a) de la Figura 5, se presentan varios ejemplos de este proceso con varias escalas.

Antes del desarrollo de la herramienta, esta actividad debía realizarse manualmente para cada imagen analizada. En contraste, la solución TIC permitió identificar automáticamente la barra de referencia y recuperar la información necesaria para calcular factores de conversión utilizados posteriormente en la obtención de medidas reales. En los apartados (b), (c) y (d) de la Figura 5, se muestran ejemplos de la detección de escalas, dígitos y etiquetas, necesarios para el cálculo de los factores de conversión.

Durante el proceso de validación, se analizaron 29 imágenes de nanopartículas. Los resultados mostraron que la herramienta identificó correctamente la referencia de escala en 26 casos, alcanzando una tasa de reconocimiento de 89.65 %. Asimismo, se observó que los errores se concentraron en imágenes donde

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 27 - 37

la barra de referencia presentaba bajo contraste o donde las anotaciones asociadas se encontraban parcialmente superpuestas con otros elementos gráficos de la micrografía. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos durante la validación de la estrategia.

Tabla 2

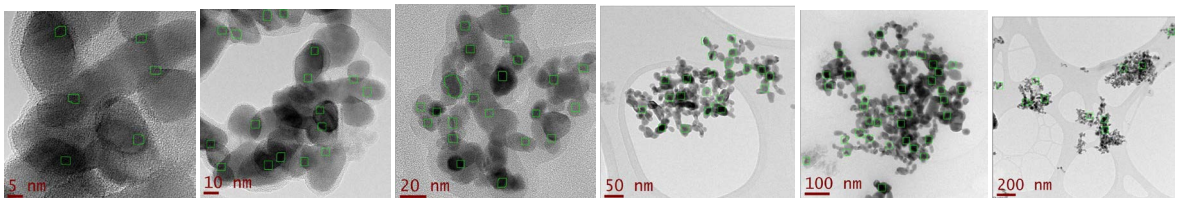
Resultados de la detección automática de referencias de escala en imágenes microscópicas

Indicador	Valor
Total de imágenes evaluadas	29
Detecciones correctas de distancia y unidad	26
Detecciones incorrectas o no reconocidas	3
Tasa de reconocimiento correcta	89.65 %
Escalas evaluadas	5, 10, 20, 50, 100 y 200 nm

Nota. Resultados obtenidos durante la validación de la estrategia para detección automática de escalas mediante transformada de Hough y redes neuronales convolucionales. Datos calculados a partir de las pruebas realizadas sobre muestras de óxido de tungsteno.

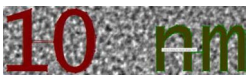
Figura 5

Ejemplo del proceso de reconocimiento automático de la referencia de escala

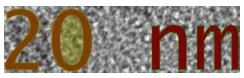


(a) Detección de muestras en distintas escalas (5, 10, 20, 50, 100 y 200 nm)

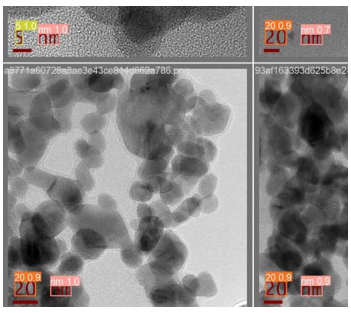
(b) Detección de la escala nm



(c) Detección de los dígitos



(d) Detección de etiquetas (texto)



El nivel de reconocimiento alcanzado demuestra la viabilidad de integrar técnicas de visión por computadora y aprendizaje profundo dentro de herramientas orientadas al análisis microscópico. Resultados similares han sido reportados en investigaciones recientes relacionadas con la detección automática de estructuras y referencias presentes en imágenes científicas obtenidas mediante microscopía (Jin *et al*., 2024; Kumar *et al*., 2024).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 28 - 37

En consecuencia, la funcionalidad implementada permitió reducir actividades repetitivas y mejorar la consistencia de las mediciones realizadas por las personas investigadoras.

3.3 RESULTADOS DE IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE NANOPARTÍCULAS

Otra funcionalidad incorporada a la herramienta correspondió a la detección preliminar de nanopartículas presentes en imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica.

La integración de técnicas de procesamiento digital de imágenes con modelos basados en redes neuronales artificiales permitió localizar regiones susceptibles de contener partículas de interés. En la Figura 6, se presenta un ejemplo de detección preliminar de estas partículas. Posteriormente, dichas detecciones fueron contrastadas con observaciones realizadas por especialistas para determinar la utilidad práctica de la solución desarrollada.

Los resultados mostraron que la herramienta logró identificar una proporción significativa de las partículas presentes en las muestras analizadas. Aunque la solución no fue concebida para sustituir el análisis realizado por especialistas, sí proporcionó una referencia inicial que facilitó los procesos de conteo y revisión posteriores. En la Tabla 3, se presentan los resultados del proceso de identificación preliminar de nanopartículas.

Tabla 3

Resultados globales de identificación preliminar de nanopartículas

Indicador	Valor
Imágenes analizadas	16
Objetos detectados automáticamente	285
Objetos caracterizados manualmente	404
Precisión global de detección	70.54 %
Tipo de muestra utilizada	Óxido de tungsteno

Nota. La precisión se calculó comparando la cantidad de partículas detectadas automáticamente contra el número total de partículas identificadas mediante caracterización manual realizada por especialistas.

Los resultados obtenidos muestran que las técnicas seleccionadas constituyen una alternativa viable para apoyar procesos de conteo y localización preliminar de nanopartículas. Esta observación coincide con trabajos recientes que han demostrado la utilidad de modelos de aprendizaje profundo para la detección automática y caracterización de partículas observadas mediante microscopía electrónica (Thuan *et al*., 2024; Kumar *et al*., 2024; Monteiro *et al*., 2025).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 29 - 37

Figura 6

Ejemplo de detección preliminar de nanopartículas mediante la herramienta TIC

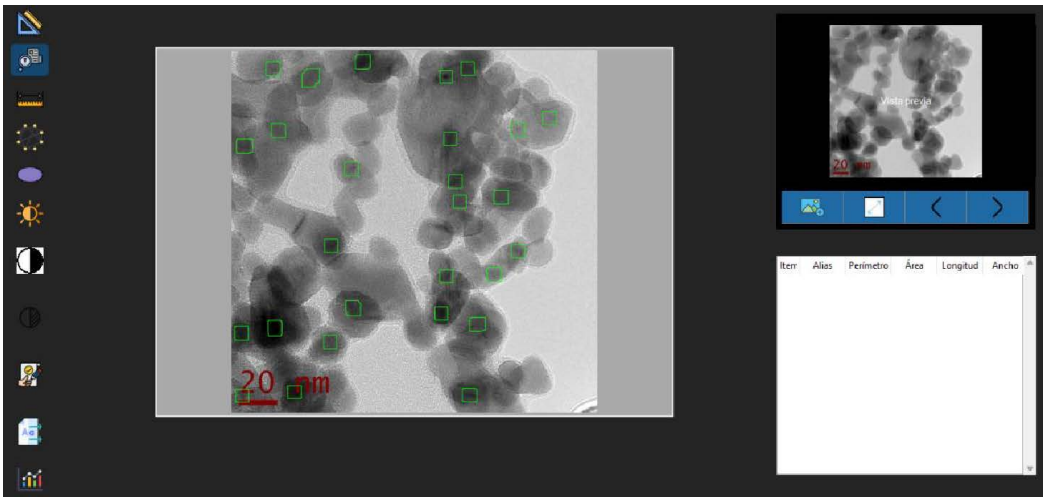
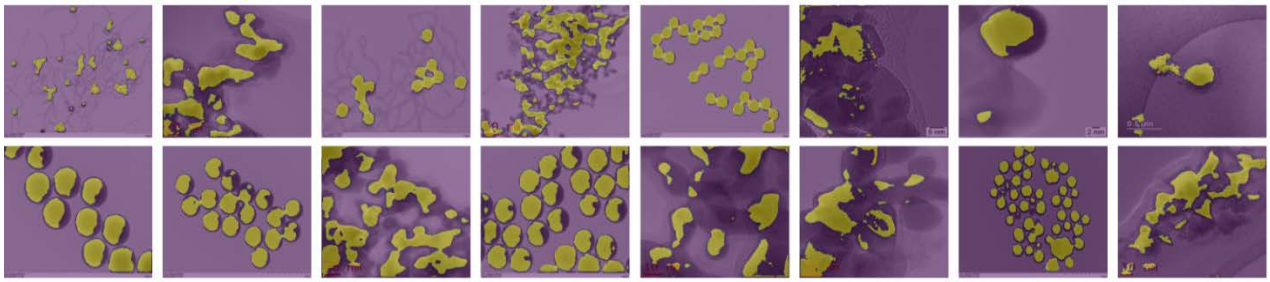
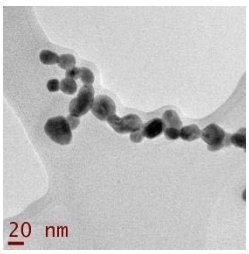


Figura 7

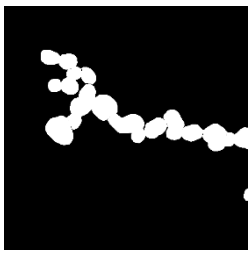
Imágenes de nanopartículas de carburo de tungsteno con objetos de interés bien definidas (a); algunas muestras con mayor niveles de contraste que requieren preprocesamiento (b-d)



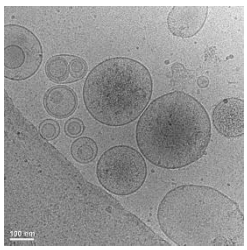
(a) Diferentes muestras en situación ideal



(a) Imagen original



(b) Segmentación



(c) Imagen original



(d) Segmentación

Asimismo, se observó que el desempeño dependía de factores tales como el contraste de la imagen, la densidad de partículas y el nivel de superposición existente entre los objetos presentes en la muestra. En

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 30 - 37

la Figura 7, se presentan múltiples ejemplos de las imágenes de nanopartículas de carburo de tungsteno que se analizaron.

3.4 RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Además de apoyar la identificación de partículas, la herramienta permitió generar información cuantitativa relacionada con características morfológicas de interés para las personas investigadoras. Aunque existen herramientas en el mercado, éstas son de uso general y no eliminan la necesidad de realizar manualmente tareas como la segmentación de elementos y la extracción de parámetros como la longitud y el área. La herramienta desarrollada automatiza la extracción de estos parámetros, reduciendo significativamente el tiempo requerido para su análisis.

Particularmente, se implementaron mecanismos para obtener medidas asociadas con:

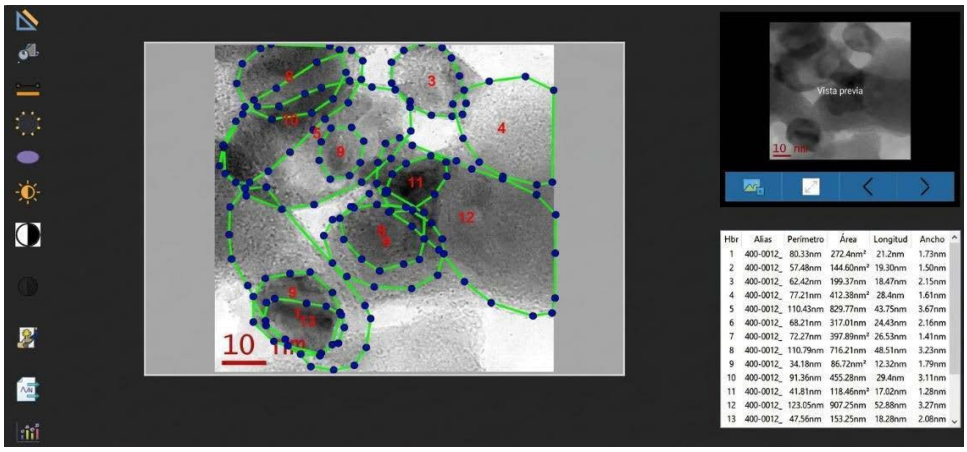
- área;
- perímetro;
- longitud;
- anchura;
- dimensiones derivadas de la escala detectada.

Como puede observarse en las Figuras 8 y 9, gracias a la automatización de estas actividades, fue posible transformar las imágenes microscópicas en conjuntos de datos susceptibles de ser utilizados para análisis estadísticos, comparación de muestras y estudios experimentales posteriores.

Como resultado, la solución tecnológica permitió reducir significativamente el tiempo dedicado a la recopilación manual de medidas y contribuyó a mejorar la trazabilidad de la información generada durante el proceso de investigación.

Figura 8

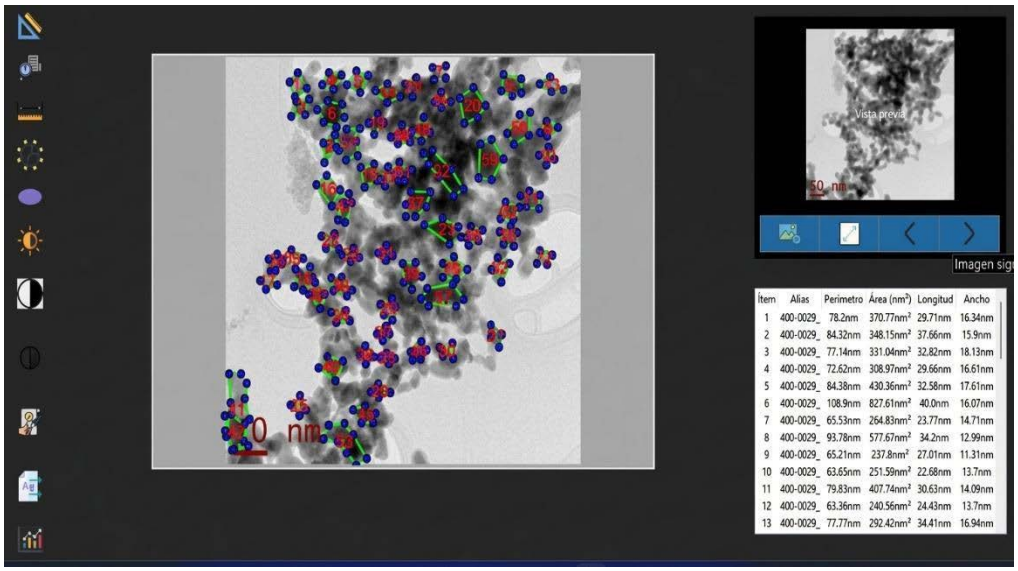
Caracterización morfológica automatizada posterior al trazado manual de las nanopartículas en muestra a 10 nm



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 31 - 37

Figura 9

Caracterización morfológica automatizada posterior al trazado manual de las nanopartículas en muestra a 50 nm



La obtención automática de parámetros morfológicos representa uno de los principales beneficios de la herramienta desarrollada, debido a que permite transformar información visual en datos cuantitativos útiles para actividades de investigación. Este tipo de análisis ha cobrado relevancia en estudios recientes orientados a la caracterización automática de nanopartículas mediante inteligencia artificial y técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes (Thuan *et al*., 2024; Monteiro *et al*., 2025).

3.5 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TIC

La principal contribución tecnológica del proyecto fue la consolidación de una herramienta TIC que integra procesamiento digital de imágenes, visión por computadora e inteligencia artificial dentro de un único entorno de trabajo.

La plataforma desarrollada permitió concentrar actividades que anteriormente requerían el uso de diversas aplicaciones independientes. De esta manera, las personas investigadoras pudieron ejecutar desde una misma interfaz procesos de carga de imágenes, segmentación, reconocimiento de escalas, detección preliminar de nanopartículas y caracterización morfológica. En las Figuras 10, 11 y 12, se presenta la interfaz de la herramienta desarrollada en sus distintas presentaciones y la opción para visualizar el historial de partículas.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 32 - 37

Figura 10

Interfaz de la herramienta TIC desarrollada, vista 1 (fondo oscuro)

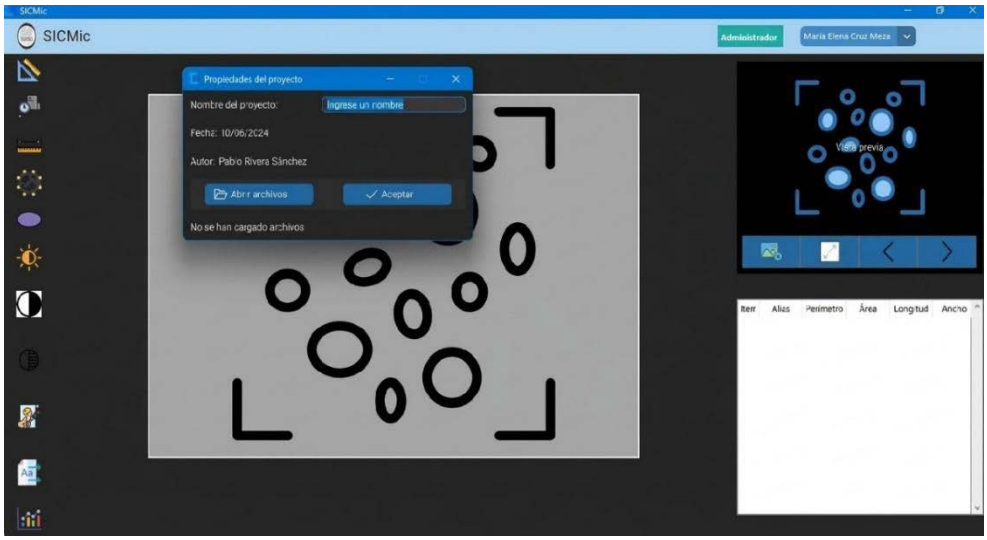
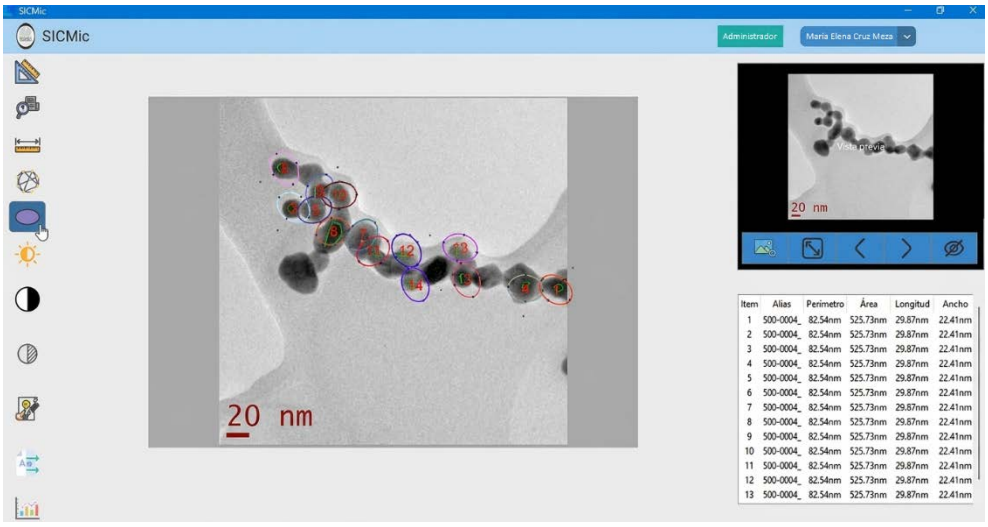


Figura 11

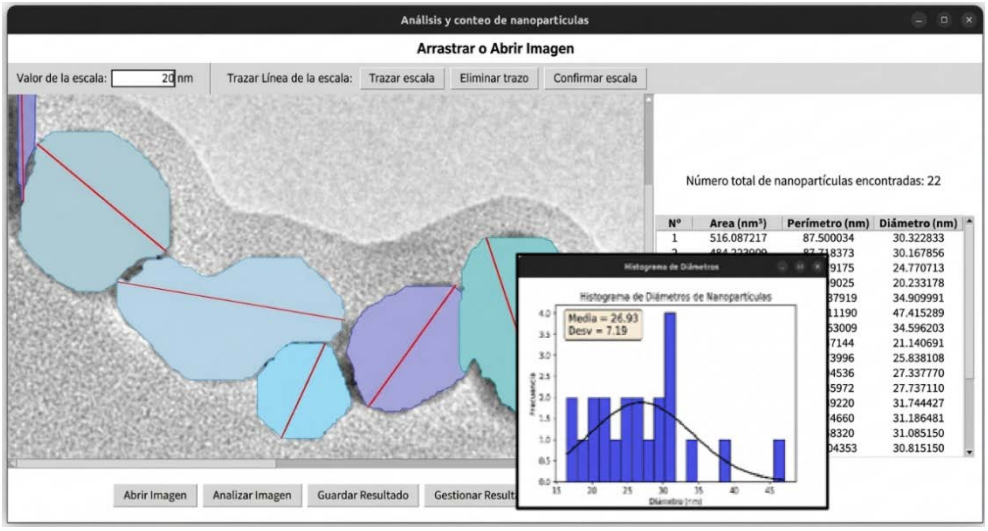
Interfaz de la herramienta TIC desarrollada, vista 2 (fondo claro)



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 33 - 37

Figura 12

Interfaz de la herramienta TIC desarrollada, vista 3 (historial de partículas)



Es importante resaltar que la modularidad de la solución facilita la incorporación de nuevos algoritmos y conjuntos de datos, lo que favorece su evolución futura hacia otros problemas relacionados con el análisis microscópico.

3.6 IMPACTO DE LA HERRAMIENTA TIC EN LAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos permitieron comprobar que la integración de TIC basadas en inteligencia artificial constituye una alternativa viable para apoyar actividades de investigación que requieren el procesamiento sistemático de imágenes microscópicas.

Por una parte, la herramienta automatizó parcialmente tareas repetitivas asociadas con el análisis de muestras. Por otra, proporcionó información cuantitativa que facilita la toma de decisiones por parte de los especialistas.

No obstante, la experiencia adquirida durante el proyecto mostró que los mejores resultados se obtienen cuando los algoritmos operan de manera complementaria al conocimiento de las personas investigadoras. En este sentido, la validación realizada por especialistas resultó fundamental para interpretar adecuadamente los resultados, identificar limitaciones y retroalimentar el funcionamiento de la solución. Asimismo, esta retroalimentación permitió perfeccionar progresivamente las funcionalidades incorporadas en la herramienta TIC, particularmente aquellas relacionadas con la detección preliminar de nanopartículas, el reconocimiento de escalas y la caracterización morfológica automática.

Entre los resultados obtenidos, se evidenció que, en escenarios donde los conjuntos de datos son reducidos y la obtención de nuevas muestras implica un costo significativo asociado a procesos de caracterización mediante técnicas especializadas de microscopía, la colaboración entre inteligencia artificial y especialistas proporciona una alternativa viable para incrementar la utilidad práctica de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 34 - 37

las herramientas TIC desarrolladas para investigación. En este sentido, la incorporación del enfoque *Human-in-the-Loop* permitió mantener la participación del investigador en etapas críticas del análisis, contribuyendo a mejorar la confiabilidad de los resultados generados por el sistema.

En consecuencia, se observó que la combinación de inteligencia artificial y experiencia humana permitió obtener resultados más consistentes que aquellos derivados de procesos completamente automatizados. Esta situación evidenció el potencial de adoptar esquemas de colaboración humano-máquina cercanos al paradigma *Human-in-the-Loop*, particularmente en dominios científicos caracterizados por conjuntos de datos reducidos o altamente especializados (Amershi *et al*., 2014).

Finalmente, los resultados alcanzados demostraron que la evolución de la herramienta TIC, desde aplicaciones orientadas al reconocimiento de microorganismos hasta funcionalidades especializadas para el análisis de nanopartículas, contribuyó a fortalecer el uso de tecnologías de información y comunicación como apoyo a actividades de investigación desarrolladas en instituciones de educación superior. Asimismo, la experiencia obtenida permitió validar una estrategia de integración entre inteligencia artificial, procesamiento digital de imágenes y conocimiento especializado, favoreciendo la transferencia de capacidades tecnológicas hacia una solución utilizable por personas investigadoras en contextos reales de análisis científico.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de proyectos de investigación que requiere el análisis de imágenes microscópicas genera la necesidad de disponer de tecnologías que apoyen actividades de identificación, conteo y caracterización de objetos de interés. En este contexto, los resultados obtenidos permitieron comprobar que la integración de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) basadas en procesamiento digital de imágenes, visión por computadora e inteligencia artificial constituye una alternativa viable para fortalecer tareas de análisis realizadas por personas investigadoras especializadas.

Inicialmente, en el primer periodo del proyecto, el trabajo se orientó a la investigación de estrategias para el reconocimiento automático de microorganismos a partir de imágenes microscópicas digitalizadas. Sin embargo, la experiencia adquirida, la disponibilidad de nuevos conjuntos de datos y las necesidades planteadas por personas investigadoras del área de nanotecnología favorecieron la evolución de la solución tecnológica para el siguiente periodo hacia el reconocimiento, conteo y caracterización de nanopartículas. Como consecuencia, fue posible reutilizar conocimientos, arquitecturas y componentes previamente desarrollados para consolidar una herramienta TIC con mayores capacidades de análisis y procesamiento.

Asimismo, la investigación y evaluación de diversas tecnologías permitió identificar las ventajas y limitaciones de enfoques basados en segmentación, conteo y detección de objetos. A partir de este análisis, se determinó que la integración de varias TIC dentro de una arquitectura híbrida proporcionaba mejores resultados que la utilización aislada de una sola tecnología. En consecuencia, la herramienta desarrollada incorporó procesamiento digital de imágenes, visión por computadora y redes neuronales artificiales para apoyar actividades relacionadas con la detección automática de escalas, la identificación preliminar de nanopartículas y la obtención de características morfológicas.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 35 - 37

Por otra parte, los resultados obtenidos evidenciaron que la principal contribución del proyecto no se limitó a la selección de algoritmos, sino a la construcción e implementación de una herramienta TIC especializada que concentra en un único entorno de trabajo actividades que anteriormente requerían múltiples procedimientos manuales y el uso de diversas aplicaciones independientes. Gracias a ello, las personas investigadoras cuentan con una solución tecnológica que facilita la organización, el procesamiento y el análisis de imágenes utilizadas durante sus procesos de investigación.

De igual manera, la validación realizada con la intervención del investigador permitió observar que los algoritmos de inteligencia artificial constituyen un apoyo importante para automatizar tareas repetitivas; no obstante, la experiencia obtenida durante el proyecto mostró que los mejores resultados se alcanzan cuando las capacidades de aprendizaje de máquina se complementan con el conocimiento especializado de las personas investigadoras. En este sentido, la participación de especialistas resultó esencial para validar resultados, interpretar casos complejos y retroalimentar el comportamiento de los modelos utilizados.

En consecuencia, una de las principales lecciones aprendidas fue reconocer que, en dominios científicos caracterizados por conjuntos de datos limitados o altamente especializados, la automatización completa no siempre representa la mejor alternativa. Por el contrario, la colaboración entre inteligencia artificial y experiencia humana permite incrementar la confiabilidad de los resultados y favorece la mejora progresiva de las soluciones tecnológicas. Esta experiencia constituye además un antecedente relevante para la incorporación de enfoques *Human-in-the-Loop* en futuras versiones de la herramienta.

Finalmente, el proyecto permitió demostrar que las TIC basadas en inteligencia artificial pueden contribuir significativamente al fortalecimiento de actividades de investigación desarrolladas en instituciones de educación superior. A partir de los resultados obtenidos, se identifican como líneas futuras de trabajo la incorporación de nuevos conjuntos de datos, la integración de arquitecturas de aprendizaje profundo más recientes, la ampliación de funcionalidades orientadas a otros tipos de muestras microscópicas y el fortalecimiento de mecanismos de interacción humano-máquina que permitan mejorar continuamente la precisión y utilidad de la herramienta para las personas investigadoras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Instituto Politécnico Nacional, a través de los proyectos SIP 20242607 y SIP 20250669. Las autoras agradecen a la ESCOM, la UPIBI y la ENMH por las facilidades otorgadas para el desarrollo de las actividades de investigación, así como a los especialistas e integrantes de los equipos de trabajo que participaron en la validación de la herramienta TIC desarrollada.

Declaración de contribución de autoría

María Elena Cruz Meza: Especialista en inteligencia artificial, visión por computadora, procesamiento digital de imágenes e ingeniería de software. Rol dentro del proyecto: participó en la definición del problema, la dirección técnica y metodológica de los proyectos SIP 20242607 y SIP 20250669, así como en la identificación de oportunidades para la aplicación de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) orientadas al análisis de imágenes microscópicas. Coordinó la investigación, selección e integración de tecnologías de procesamiento digital de imágenes, visión por computadora y aprendizaje de máquina que dieron origen a la herramienta TIC desarrollada. Asimismo, supervisó las actividades de validación

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 36 - 37

y evaluación de la solución tecnológica y contribuyó a la redacción y revisión técnica y científica del reporte técnico.

Sandra Vázquez Romero: Especialista en matemáticas aplicadas con computación, análisis de datos e inteligencia artificial. Rol dentro del proyecto: participó en la investigación y análisis de tecnologías de inteligencia artificial aplicables al reconocimiento automático de patrones presentes en imágenes microscópicas. Colaboró en la evaluación comparativa de algoritmos de segmentación, detección y aprendizaje profundo, así como en la selección de modelos de redes neuronales artificiales integrados en la herramienta TIC. Además, contribuyó al análisis de resultados y a la revisión técnica del documento.

Yazmín Monserrat Martínez Flores: Especialista en neurobiología celular y molecular, microscopía, análisis experimental y validación de muestras científicas. Rol dentro del proyecto: participó en la identificación de requerimientos asociados al análisis experimental de muestras microscópicas y en la validación de los conjuntos de datos empleados. Asimismo, colaboró en la definición de criterios de evaluación, la interpretación de resultados y la verificación de las funcionalidades incorporadas en la herramienta TIC desde la perspectiva de los usuarios especializados. También contribuyó a la revisión técnica y científica del reporte.

REFERENCIAS

Divya, Z. G., y Tripathy, B. K. (2024, 28-29 de noviembre). *Transfer learning based framework of VGG16 to detect breast cancer using histopathological images* [ponencia]. 2024 Sixth Doctoral Symposium on Intelligence Enabled Research (DoSIER 2024), Jalpaiguri, India.

Gonzalez, R. C., y Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4a ed.). Pearson.

Greenwald, N. F., Miller, G., Moen, E., Kong, A., Kagel, A., Dougherty, T., Camacho Fullaway, C., McIntosh, B. J., Leow, K. X., Schwartz, M. S., Pavelchek, C., Cui, S., Camplisson, I., Bar-Tal, O., Singh, J., Fong, M., Chaudhry, G., Abraham, Z., Moseley, J., ... Van Valen, D. (2022). Whole-cell segmentation of tissue images with human-level performance using large-scale data annotation and deep learning. *Nat Biotechnology*, *40*(4), 555-565. https://doi.org/10.1038/s41587-021-01094-0

He, K., Zhang, X., Ren, S., y Sun, J. (2016, 27-30 de junio). *Deep Residual Learning for Image Recognition* [ponencia]. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, EUA. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Jin, K., Shen, J., Wang, Y., Yang, Y., y Cao, S. (2024). Enhanced nanoparticle recognition via deep learning-accelerated plasmonic sensing. *Biosensors*, *14*(8), 363. https://doi.org/10.3390/bios14080363

Kumar, G., Kumar, S., Sharma, A., Raturi, A., Shrivastava, A., Rao, A. L. N., y Khan, A. K. (2024). Novel framework for enhanced nanoparticle detection in scanning electron microscopy using synthetic data. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, *16*(6), 06008. https://doi.org/10.21272/jnep.16(6).06008

LeCun, Y., Bengio, Y., y Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436-444. https://doi.org/10.1038/nature14539

Lu, E., Xie, W., y Zisserman, A. (2018). Class-agnostic counting. *Asian Conference on Computer Vision (ACCV)*, 669-684. https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.00472

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.213 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 37 - 37

Meijering, E. (2012). Cell segmentation: 50 years of development. *IEEE Signal Processing Magazine*, *29*(5), 140-145. https://doi.org/10.1109/MSP.2012.2204190

Meyer, F. (1994). Topographic distance and watershed lines. *Signal Processing*, *38*(1), 113-125. https://doi.org/10.1016/0165-1684(94)90060-4

Moen, E., Bannon, D., Kudo, T., Graf, W., Covert, M., y Van Valen, D. (2019). Deep learning for cellular image analysis. *Nature Methods*, *16*(12), 1233-1246. https://doi.org/10.1038/s41592-019-0403-1

Monteiro, G. A. A., Monteiro, B. A. A., Santos, J. A. D., y Wittemann, A. (2025). Pre-trained artificial intelligence-aided analysis of nanoparticles using the segment anything model. *Scientific Reports*, *15*(1), 2341. https://doi.org/10.1038/s41598-025-86327-x

Omoniyi, T. M., Abel, B., Omoebamije, O., Onimisi, Z. M., Matos, J. C., Tinoco, J., y Minh, T. Q. (2025). The effect of data augmentation on performance of custom and pre-trained CNN models for crack detection. *Applied Sciences*, *15*(22), 12321. https://doi.org/10.3390/app152212321

Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, *9*(1), 62-66. https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., y Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779-788. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91

Ronneberger, O., Fischer, P., y Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2015)*, 234-241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

Smith, A. G., Han, E., Petersen, J., Olsen Faircloth, N. A., Giese, C., Athmann, M., Dresbøll, D. B., y Thorup-Kristensen, K. (2022). RootPainter: Deep learning segmentation of biological images with corrective annotation. *New Phytologist*, *236*(2), 774-791. https://doi.org/10.1111/nph.18387

Thuan, N. D., Cuong, H. M., Nam, N. H., Huong, N. T. L., y Hong, H. S. (2024). Morphological analysis of Pd/C nanoparticles using SEM imaging and advanced deep learning. *RSC Advances*, *14*(47), 35172-35183. https://doi.org/10.1039/D4RA06113F

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 38 - 52

Gestión de documentos y acuses para el profesorado mediante un *plugin* local y un bloque en Moodle 5

Faculty document and acknowledgement management through a local plugin and a block in Moodle 5

Jorge Alejandro Camacho Morales
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
jacm@facmed.unam.mx
ORCID: 0009-0009-2987-3079

Alejandro Alayola Sansores
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
dibfm@unam.mx
ORCID: 0009-0002-8864-4152

Viridiana Robles González
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
viridiana.robles@facmed.unam.mx
ORCID: 0009-0007-1218-9292

José González Suárez
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
jose_gosu83@unam.mx
ORCID: 0009-0004-1627-2235

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Camacho Morales, J. A., Alayola Sansores, A. Robles González, V. y González Suárez, J. (2026). Gestión de documentos y acuses para el profesorado mediante un plugin local y un bloque en Moodle 5. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (38 - 52). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214

Resumen

En 2026, en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México, se desarrollaron e integraron dos extensiones para Moodle 5 orientadas a

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 39 - 52

mejorar la gestión académico-administrativa de documentos dirigidos al profesorado: el *plugin* local *Documentos del profesorado* y el bloque *Mis listas de asistencia*. El proyecto respondió a un proceso previo basado en correos electrónicos, archivos distribuidos y verificaciones manuales que dificultaban conocer qué documento había recibido y aceptado cada persona. Se siguió un ciclo iterativo de levantamiento de requerimientos, diseño, desarrollo, instalación, configuración, pruebas y mejora. La solución incorporó avisos versionados con alcance por curso, aceptaciones individuales, documentos grupales, generales e individuales, importación CSV, altas manuales, descargas protegidas, trazabilidad y constancias por correo. La versión 2.0.2 fue verificada mediante escenarios funcionales y operación controlada con grupos de Salud Pública y Comunidad y de Promoción de la Salud en el Ciclo de Vida. Los resultados mostraron que las reglas de autorización por curso, la conservación de evidencias y las migraciones entre versiones funcionaron conforme a los casos definidos. Como limitaciones, esta evidencia corresponde a verificación funcional y uso institucional acotado; no se dispone todavía de una medición comparativa retrospectiva de tiempos ni de una encuesta formal con muestra suficiente de docentes. Por ello, se elaboró un protocolo de evaluación postimplementación para medir tiempos de obtención de acuses, satisfacción, utilidad percibida y facilidad de uso sin presentar datos no observados.

Palabras clave: Entornos virtuales de aprendizaje, gestión académico-administrativa, trazabilidad documental, transformación digital universitaria, experiencia de usuario.

Abstract

In 2026, in the Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México*, two Moodle 5 extensions were developed and integrated to improve faculty-oriented academic-administrative document management: the Documentos del profesorado local plugin and the Mis listas de asistencia block. The project addressed a previous workflow based on email, distributed files, and manual checks that made it difficult to determine which document each faculty member had received and acknowledged. An iterative cycle of requirements elicitation, design, development, installation, configuration, testing, and improvement was followed. The solution incorporated versioned notices scoped by course, individual acknowledgements, group, general, and individual documents, CSV imports, manual assignments, protected downloads, traceability, and email confirmations. Version 2.0.2 was verified through functional scenarios and controlled institutional operation with groups from Public Health and Community and Health Promotion Across the Life Course. Results showed that course-based authorization rules, evidence preservation, and version migrations behaved according to the defined cases. As a limitation, the available evidence concerns functional verification and bounded institutional use; a retrospective comparative measurement of acknowledgement times and a formal faculty survey with a sufficient sample are not yet available. Therefore, a post-implementation evaluation protocol was prepared to measure acknowledgement times, satisfaction, perceived usefulness, and ease of use without reporting unobserved data.*

Keywords: *Virtual learning environments, academic-administrative management, document traceability, university digital transformation, user experience.*

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 40 - 52

1. INTRODUCCIÓN

Los entornos virtuales de aprendizaje se consolidaron como espacios institucionales para distribuir información, sostener la docencia y concentrar servicios académicos. Su utilidad no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino también de la calidad del sistema, la información y el servicio ofrecido (Al-Fraihat *et al*., 2020). De forma similar, la calidad de la información y la satisfacción explican una parte relevante del uso sostenido de plataformas educativas (Cidral *et al*., 2020). En este contexto, la transformación digital universitaria no consiste solamente en trasladar actividades a una plataforma: requiere integrar los servicios en los flujos cotidianos, reducir tareas paralelas y preservar evidencias de operación. Estudios recientes con profesorado universitario muestran que la utilidad percibida, la facilidad de uso, las condiciones facilitadoras y el apoyo institucional influyen en la aceptación y uso de Moodle (García-Murillo *et al*., 2023; Rueda-Gómez *et al*., 2024). Asimismo, la evaluación contemporánea de LMS desde la perspectiva conjunta de docentes y estudiantes subraya la necesidad de interfaces funcionales, capacitación y adaptación a los contextos de cada unidad académica (Simon *et al*., 2025).

Moodle es una plataforma ampliamente utilizada en educación superior y su evolución ha incorporado asuntos de integridad, ética, seguridad, velocidad y navegación (Gamage *et al*., 2022). Sin embargo, el conocimiento meramente funcional de la plataforma no garantiza un uso pedagógico o administrativo pertinente; se requiere articular competencias técnicas con necesidades concretas de la institución (Cabero-Almenara *et al*., 2019). La literatura también señala que la continuidad de uso de los sistemas de gestión del aprendizaje se relaciona con la utilidad percibida, el esfuerzo esperado, la satisfacción y las condiciones de apoyo (Raza *et al*., 2021; García-Murillo *et al*., 2023). A ello, se suman retos de privacidad y confidencialidad propios de la transición digital universitaria (Turnbull *et al*., 2021). Una comparación reciente de plataformas para educación superior situó a Moodle entre los LMS (por sus siglas en inglés, *Learning Management System)* con mayor desempeño en criterios de interoperabilidad, accesibilidad, herramientas, seguridad y funcionalidades para enseñanza-aprendizaje, lo que respalda su elección como base para extensiones institucionales específicas (Sanchez *et al*., 2024).

Durante 2026, en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se identificó la necesidad de mejorar la entrega de cartas de asignación, listas de asistencia y otros archivos al profesorado formalmente relacionado con cada curso y grupo. Antes del proyecto, la distribución se apoyaba principalmente en correo electrónico y en verificaciones manuales. Este esquema permitía enviar archivos, pero dificultaba sustituirlos sin perder claridad sobre la versión vigente, identificar qué aviso había aceptado cada persona, demostrar qué documento se le presentó y mantener una relación consistente entre profesor, curso, grupo y archivo. El proceso se volvía más complejo cuando un profesor participaba en varios cursos, cuando un grupo tenía más de un docente o cuando era necesario entregar un documento exclusivo a una persona. Los beneficiarios directos del proyecto fueron, por tanto, el profesorado que recibe y consulta documentos y el personal académico-administrativo que prepara, distribuye y da seguimiento a esa documentación.

El objetivo del proyecto fue diseñar, desarrollar e integrar desde cero un *plugin* local y un bloque para Moodle 5 que trasladaran este flujo al entorno institucional ya utilizado por las personas usuarias. El *plugin* debía registrar aceptaciones individuales de avisos versionados, permitir varios avisos activos con alcance por curso, administrar documentos por grupo o destinatario, proteger cada descarga y conservar los datos durante las actualizaciones. El bloque debía reutilizar la misma autorización y ofrecer al profesorado un acceso breve desde su tablero. La meta no fue sustituir Moodle ni crear un sistema

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 41 - 52

paralelo, sino ampliar una infraestructura existente para resolver un proceso académico-administrativo específico con trazabilidad, control de acceso y evidencia técnica.

2. DESARROLLO TÉCNICO

El *plugin* local *Documentos del profesorado* se desarrolló como fuente única de datos, reglas de autorización, aceptaciones y archivos, mientras que el bloque *Mis listas de asistencia* se definió como una capa de acceso simplificada desde el tablero. Esta separación respondió a un criterio de arquitectura: la lógica de negocio debía permanecer en un solo componente para evitar que la misma regla se implementara de forma distinta en varias pantallas. El bloque, por tanto, consulta y presenta información administrada por el *plugin*, pero no mantiene una base de decisiones independiente. La primera etapa resolvió avisos y documentos por grupo; las versiones posteriores incorporaron necesidades observadas durante la operación, como varios avisos activos por curso, documentos individuales, cargas generales, consulta histórica, altas manuales y sustitución controlada de asociaciones.

El modelo de datos se organizó en seis entidades persistentes: avisos, relación aviso-curso, asignaciones docentes, aceptaciones, documentos y relaciones documento-usuario. En Moodle, correspondieron a las tablas {local_profdocs_notice}, {local_profdocs_notice_course}, {local_profdocs_assignment}, {local_profdocs_accept}, {local_profdocs_document} y {local_profdocs_docuser}. Cada aceptación quedó vinculada de manera única con un usuario y un aviso, y conservó fecha, hora, dirección de red y resultado del correo. La asignación utilizó una cuenta ya existente, un código de curso y un grupo; el complemento no importó ni almacenó contraseñas. Esta decisión redujo la duplicación de datos personales y permitió aprovechar la autenticación, sesiones y capacidades ya disponibles en Moodle. También facilitó que la baja o modificación de una cuenta se resolviera mediante los mecanismos ordinarios de la plataforma y no mediante credenciales paralelas.

La administración evolucionó por etapas. Primero, se importaron asociaciones de profesorado, curso y grupo mediante CSV en UTF-8 y se habilitó un archivo vigente por grupo; una sola carga se relacionó con todos los docentes asignados. Después, se añadieron búsqueda y fichas individuales, carga directa por profesor, documentos generales para varios destinatarios y alta manual de asignaciones sin depender de una hoja de cálculo. Finalmente, se incorporaron vistas históricas de aceptación y acciones para revisar o retirar asociaciones generales ambiguas. La evolución respondió a casos reales de operación: el CSV era eficiente para altas masivas, pero insuficiente para correcciones puntuales; por ello, se mantuvieron ambas vías. Del mismo modo, la necesidad de atender documentos comunes a varias personas sin duplicar archivos condujo a separar el documento de su relación con los destinatarios.

El control de acceso se apoyó en la sesión, las capacidades y los contextos de Moodle (Moodle, s. f.-a). Cada descarga utilizó la File API y verificó que el usuario estuviera relacionado con el documento o contara con capacidad administrativa (Moodle, s. f.-c). El tratamiento de datos personales se consideró en relación con la Privacy API (Moodle, s. f.-d). Desde la versión 2.0.1, la autorización se evaluó por curso: aceptar el aviso de un curso desbloqueó únicamente sus archivos, mientras otro que estaba pendiente permaneció bloqueado. Los avisos globales continuaron controlandolos todos. La misma regla se aplicó a la vista completa, el bloque, las direcciones directas de archivo y los adjuntos enviados por correo. De esta forma, no bastaba con ocultar visualmente un enlace: la comprobación se repetía en el punto de descarga para evitar que una URL directa eludiera la autorización.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 42 - 52

El sistema de avisos se inició con una sola versión activa para todo el profesorado. Posteriormente, se amplió para almacenar versiones independientes y relacionarlas con uno o varios códigos de curso; un aviso sin cursos seleccionados funcionó como institucional o global. La aceptación se registró por usuario y aviso, por lo que se utilizaron avisos distintos cuando dos cursos requirieron firmas independientes. Las aceptaciones históricas permanecieron válidas durante las migraciones y sólo una nueva versión activa solicitó otra aceptación. La pantalla administrativa mostró contenido, alcance, estado y evidencias individuales.

Después de aceptar, el sistema de correo de Moodle generó una constancia individual. El mensaje incluyó solamente los documentos autorizados para los cursos ya aceptados. Si el tamaño total superaba el límite configurado, los adjuntos se sustituían por enlaces protegidos. Un archivo cargado después de la aceptación apareció automáticamente en el tablero sin exigir una nueva firma, aunque no se reenvió de forma automática el correo original. El mecanismo utilizó el servicio de correo incluido en Moodle y no requirió dependencias externas.

El bloque complementario se construyó con la estructura oficial de bloques de Moodle (Moodle, s. f.-b) y mostró grupo, tipo de documento, título y acción. Si un profesor tenía dos cursos y sólo uno estaba aceptado, el bloque mantenía la descarga del primero y señalaba únicamente los archivos pendientes del segundo. En la fase de estabilización, se corrigió el ciclo de redirecciones del cambio obligatorio de contraseña, se normalizaron asociaciones duplicadas y se completaron las cadenas en inglés, español y español de México (es_mx), junto con el crédito configurable del Departamento de Salud Digital. En este reporte técnico, «en», «es» y «es_mx» se refieren a paquetes de localización de Moodle: inglés, español general y español de México, respectivamente.

2.1 METODOLOGÍA Y FASES DE TRABAJO

El trabajo siguió un ciclo iterativo de levantamiento, arquitectura, modelado de datos, implementación, pruebas, despliegue y mejora. Cada necesidad observada durante el uso institucional se transformó en una regla verificable y en una actualización compatible: aceptación por persona, varios avisos sin interferencia entre cursos, un archivo vigente por grupo, documentos individuales, acceso exclusivo para destinatarios, alta manual y masiva, consulta de evidencias y navegación desde el tablero. Se eligió un *plugin* local para los datos y reglas globales, así como un bloque dependiente para el acceso cotidiano. El proceso no se trató como una secuencia rígida: después de cada puesta en operación, se revisaron incidencias y solicitudes, se contrastaron con el modelo de datos y se liberaron cambios procurando no romper la información almacenada en versiones anteriores.

Durante la configuración, se definieron capacidades separadas para administrar y consultar, índices para evitar aceptaciones duplicadas y relaciones explícitas entre avisos, cursos, archivos, usuarios y grupos. Se parametrizaron el tamaño máximo de adjuntos, la exigencia de aceptación, el nombre institucional, la firma del correo y el pie del complemento. Los paquetes de idioma en, es y es_mx utilizaron las mismas claves para evitar interfaces incompletas. El complemento y el bloque declararon versiones y dependencias compatibles con Moodle 5.0 o posterior. Estas decisiones se documentaron para que una instalación nueva pudiera reproducir la configuración sin depender del conocimiento tácito del equipo desarrollador.

La evolución se conservó mediante migraciones sucesivas. Las versiones iniciales establecieron avisos, aceptaciones, asignaciones y documentos. Las versiones 1.1 y 1.2 incorporaron consulta administrativa,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 43 - 52

cargas directas y un archivo por grupo; la serie 1.2 añadió el crédito institucional, la vista general de aceptaciones, la interfaz en español y la corrección de duplicados. La serie 1.3 introdujo avisos por curso y resolvió el cambio obligatorio de contraseña. La serie 2.0 consolidó la autorización independiente por curso y la preparación para distribución. Cada paso conservó identificadores y datos existentes, reconectó documentos cuando cambiaron las asignaciones y evitó convertir archivos válidos en generales al reemplazar un CSV. Este enfoque permitió tratar la actualización como parte del desarrollo y no como una reinstalación que borrara evidencias anteriores.

Las pruebas se organizaron por escenarios. Se revisaron el cambio obligatorio de contraseña, la aceptación de un aviso sin listas disponibles, la carga posterior de archivos, dos cursos con estados de aceptación diferentes, la descarga directa, el bloque, los adjuntos del correo, el reemplazo de asociaciones CSV y las cargas generales e individuales. También se verificaron la estructura XML, el equilibrio sintáctico, la paridad de cadenas en los tres idiomas, las versiones y las dependencias de los paquetes ZIP. Se añadió una prueba automatizada para confirmar que la aceptación del curso A no autorizara el documento pendiente del curso B. La evidencia cuantitativa disponible no permite estimar ahorro de tiempo, adopción o satisfacción para toda la población docente; por ello, la verificación funcional se documentó como tal y no se extrapoló a resultados de eficiencia o aceptación.

2.2 LEVANTAMIENTO Y DISEÑO

El levantamiento de requerimientos partió del flujo administrativo existente y de los casos que generaban más incertidumbre: envío de cartas y listas por correo, sustitución de archivos, necesidad de conocer quién había aceptado un aviso, profesores asociados a más de un curso y grupos atendidos por más de un docente. En lugar de traducir literalmente el procedimiento de correo a una pantalla, se identificaron entidades y reglas: una persona puede tener varias asignaciones; un aviso puede ser global o estar limitado a cursos; una aceptación pertenece a un usuario y a una versión concreta del aviso; un documento puede corresponder a un grupo, a una persona o a varios destinatarios. Esta abstracción permitió separar el contenido del aviso de la evidencia de aceptación y evitar que una nueva versión sobrescribiera el antecedente. También permitió definir desde el diseño qué información debía ser visible para el profesorado y qué acciones quedarían reservadas a perfiles administrativos.

Además, el diseño consideró la experiencia de uso. La plataforma ya formaba parte del entorno habitual del profesorado, por lo que se evitó crear credenciales adicionales o un portal independiente. La decisión de colocar un bloque en el tablero buscó disminuir pasos de navegación y mantener el acceso junto con otras actividades de Moodle. La literatura reciente sobre aceptación tecnológica en profesorado respalda la importancia de la utilidad percibida, la facilidad de uso y las condiciones facilitadoras para sostener el uso de un LMS (García-Murillo *et al*., 2023; Rueda-Gómez *et al*., 2024). De manera complementaria, investigaciones con docentes y estudiantes han señalado que la familiaridad, la capacitación y una interfaz clara condicionan la experiencia de uso de Moodle (Simon *et al*., 2025). Estos criterios se incorporaron como principios de diseño, aunque su medición formal se dejó para la fase de postimplementación descrita más adelante.

2.3 DESARROLLO, INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN

El desarrollo se realizó sobre la arquitectura de extensiones de Moodle 5. La lógica central se ubicó en el *plugin* local y el bloque quedó dependiente de éste. La elección evitó duplicar validaciones y permitió

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 44 - 52

que la administración, la vista completa, el bloque y las descargas directas consultaran una misma fuente de autorización. La instalación se preparó mediante paquetes compatibles con el mecanismo estándar de complementos de Moodle y con declaraciones explícitas de versión y dependencias. Las actualizaciones utilizaron migraciones para crear o modificar estructuras sin borrar registros previos. Antes de aplicar cambios, se consideró indispensable respaldar la base de datos y el almacenamiento de archivos, así como ejecutar primero las actualizaciones en un entorno de prueba o copia representativa.

La configuración se diseñó para reducir cambios de código ante variaciones operativas. El personal administrador puede definir el límite para adjuntos enviados por correo, activar o desactivar la exigencia de aceptación, establecer nombre institucional, firma y pie de los mensajes, así como administrar las asociaciones entre cursos, grupos y docentes. Los archivos que exceden el límite de adjuntos se sustituyen por enlaces protegidos, de modo que el envío del correo no obligue a relajar el control de acceso. La carga posterior de un archivo para un curso ya aceptado no exige una nueva aceptación, porque el objeto aceptado es el aviso y su versión; sin embargo, la publicación de una nueva versión activa del aviso sí requiere un nuevo registro. Esta distinción se documentó para que la operación futura no confunda actualización documental con modificación de las condiciones que requieren consentimiento o acuse.

2.4 PRUEBAS Y RETROALIMENTACIÓN ITERATIVA

La estrategia de pruebas combinó revisión estructural y escenarios de usuario. En la parte estructural, se comprobaron archivos XML, versiones, dependencias, cadenas de idioma y la instalación de los paquetes. En la parte funcional se utilizaron cuentas con distintas combinaciones de cursos y estados de aceptación. El escenario crítico consistió en una persona con dos cursos: uno aceptado y otro pendiente. El comportamiento esperado era conservar el acceso a los documentos del primer curso y bloquear únicamente los del segundo. También se verificaron aceptación previa a la existencia de listas, alta posterior de archivos, descarga directa, envío de constancias, reemplazo de asociaciones por CSV y documentos individuales. Cada incidencia observada se convirtió en un caso de regresión para las versiones siguientes.

La retroalimentación operativa de las personas vinculadas con el proceso académico permitió precisar términos de interfaz, rutas de navegación y escenarios que no eran evidentes en la primera versión. Por ejemplo, la coexistencia de cargas masivas y altas manuales surgió de la necesidad de resolver tanto movimientos de grupo como correcciones individuales. Del mismo modo, la autorización independiente por curso respondió al problema de que un aviso pendiente no debía retirar acceso a documentación ya aceptada en otro curso. Esta forma de evolución es consistente con la evidencia que recomienda analizar los LMS como entornos sociotécnicos cuyo aprovechamiento depende del contexto, del acompañamiento y de las necesidades de sus usuarios (Rueda-Gómez *et al*., 2024; Simon *et al*., 2025).

2.5 EVALUACIÓN POSTIMPLEMENTACIÓN

En atención a la necesidad de evaluar la mejora más allá de la verificación técnica, se incorporó una fase de postimplementación con dos componentes. El primero es una comparación de tiempos de obtención de acuse. Para el procedimiento tradicional, se propone registrar, en una muestra de entregas comparables, la fecha y hora del primer envío por correo o de la entrega administrativa, así como las correspondientes a la confirmación verificable; para el procedimiento con el *plugin*, el intervalo se calculará entre la publicación del aviso o documento y el registro de aceptación. La unidad de análisis será cada entrega

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 45 - 52

individual y se reportarán mediana, rango intercuartílico y proporción de acuses obtenidos dentro de ventanas previamente definidas. Para evitar sesgos, no se reconstruirán tiempos históricos cuando no exista evidencia suficiente en registros institucionales.

El segundo componente es una encuesta breve al profesorado que haya utilizado la herramienta. Se propone medir utilidad percibida, facilidad de acceso, claridad de los avisos, confianza en la disponibilidad de documentos, satisfacción general e intención de continuar usando el mecanismo. Los ítems podrán responderse en una escala de cinco puntos y complementarse con una pregunta abierta sobre mejoras. La selección de dimensiones toma como referencia estudios recientes sobre aceptación de Moodle por docentes y sobre experiencias de uso de LMS en educación superior (García-Murillo *et al*., 2023; Rueda-Gómez *et al*., 2024; Simon *et al*., 2025). Los resultados deberán presentarse de forma agregada y voluntaria, sin vincular respuestas de percepción con direcciones IP o con datos de aceptación más allá de lo estrictamente necesario. Al cierre de este reporte, esta evaluación formal se encuentra incorporada como protocolo y no se presentan cifras de eficiencia o satisfacción que todavía no han sido medidas de manera sistemática.

3. RESULTADOS

El proceso completo produjo el *plugin* local *Documentos del profesorado* 2.0.2 y el bloque *Mis listas de asistencia* para Moodle 5. La evidencia disponible corresponde a verificación funcional y a una operación institucional acotada con grupos de Salud Pública y Comunidad y de Promoción de la Salud en el Ciclo de Vida; no se presenta como un despliegue general a toda la Facultad. El panel administrativo concentró avisos activos, conteos, asociaciones, altas manuales, importación CSV, documentos grupales, generales e individuales, así como el registro de aceptaciones históricas. La autorización por curso resolvió el caso en que un profesor aceptó un aviso pero mantuvo otro pendiente, sin retirar sus descargas ya autorizadas. El correo de constancia se comprobó con envíos individuales de documentos autorizados y las migraciones permitieron llegar al estado final sin borrar ni recrear profesores, avisos, documentos o evidencias de las primeras versiones.

Tabla 1

Resultados de la verificación funcional del desarrollo

Escenario	Comportamiento esperado	Resultado
Aviso pendiente por curso	Bloqueo únicamente de los documentos controlados por ese aviso.	Implementado
Aceptación parcial	Un curso aceptado sigue disponible aunque otro permanezca pendiente.	Implementado y probado
Aceptación sin listas	La persona puede aceptar antes de que exista un archivo; la carga posterior queda autorizada.	Implementado
Aceptación individual	Registro único por persona y aviso con fecha, dirección de red y correo.	Implementado

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 46 - 52

Escenario	Comportamiento esperado	Resultado
Archivo por grupo	Una carga se relaciona con todo el profesorado asignado al grupo.	Implementado
Archivo individual o general	Carga para una persona o para varios destinatarios seleccionados.	Implementado
Alta de asignaciones	Registro manual o importación CSV en UTF-8.	Implementado
Cambio de contraseña	Moodle completa primero el cambio obligatorio y después muestra el aviso.	Corregido
Migración desde 1.x	Conservación de avisos, firmas, asignaciones y archivos existentes.	Implementado
Bloque del tablero	Descargas autorizadas y aviso específico para archivos todavía bloqueados.	Verificado
Interfaz es_mx	Etiquetas completas en español de México sin eliminar en ni es.	Verificado
Correo de constancia	Envío individual con adjuntos autorizados o enlaces protegidos según el límite configurado.	Implementado y verificado

Nota. Elaboración con base en las pruebas funcionales del plugin local_profdocs y del bloque profdocs_downloads en Moodle 5.x.

Los resultados de la Tabla 1 se interpretaron con tres etiquetas operativas. «Implementado» significa que la función forma parte de la versión evaluada y su flujo puede ejecutarse en el sistema; «probado» indica que, además de estar implementada, se ejecutó mediante un caso de prueba definido; y «verificado» señala que el comportamiento esperado fue observado durante las comprobaciones funcionales u operativas descritas en el reporte. Estas etiquetas no representan niveles estadísticos de desempeño ni porcentajes de éxito, sino el tipo de evidencia disponible para cada escenario.

Moodle reconoció el bloque como Descarga de listas del profesorado y permitió agregarlo al tablero predeterminado. Para el usuario final, el título visible fue “Mis listas de asistencia”. El bloque mostró solamente documentos relacionados con la cuenta autenticada y aplicó la autorización por curso. La incorporación del paquete es_mx corrigió la aparición de etiquetas en inglés en instalaciones configuradas como español de México, sin eliminar la traducción inglesa requerida para su distribución pública.

Como limitaciones, la solución dependió de que las cuentas existieran previamente en Moodle, de que los códigos de curso coincidieran entre avisos y asignaciones y de que el correo saliente estuviera configurado. La aceptación constituyó evidencia técnica de interacción con un aviso, no una firma electrónica avanzada. Un aviso asignado simultáneamente a varios cursos produjo una sola aceptación; se necesitaron avisos separados cuando la institución requirió acuses independientes. La evidencia reunida hasta esta versión es principalmente funcional y corresponde a uso institucional acotado, por lo que no permite concluir todavía que el sistema reduzca en una magnitud determinada los tiempos de obtención de acuses ni que exista un nivel específico de satisfacción docente. Esas variables forman

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 47 - 52

parte de la evaluación postimplementación planteada en la sección 2.5. Antes de una publicación del complemento o de un despliegue general, deben ejecutarse Moodle Plugin CI y pruebas de instalación, así como actualización en copias representativas del entorno productivo.

La principal mejora técnica observada fue la separación de la autorización por curso. En versiones anteriores, una lógica global podía producir una experiencia confusa cuando la misma persona atendía más de un curso. Al evaluar cada aviso en su alcance correspondiente, la solución mantuvo accesibles los documentos ya autorizados y señaló únicamente lo que permanecía pendiente. Otra mejora fue la persistencia histórica: las actualizaciones conservaron aceptaciones y asociaciones anteriores, lo que evitó perder la evidencia que daba sentido al sistema. Finalmente, la coexistencia de carga CSV, alta manual y documentos individuales permitió atender tanto operaciones masivas como excepciones sin mantener bases paralelas fuera de Moodle.

Desde la perspectiva de mejora administrativa, los resultados muestran capacidades que el procedimiento disperso no concentraba en un solo punto: identificación del aviso aceptado, registro de fecha y hora, relación entre usuario y documento, consulta histórica y aplicación de la misma regla de acceso en interfaz y descarga. No obstante, estas capacidades no deben confundirse con una demostración cuantitativa de ahorro de tiempo o mayor satisfacción. La comparación con el proceso por correo y la encuesta al profesorado requieren datos recolectados de manera específica. Por ello, el resultado actual se limita a afirmar que el sistema integra y hace trazables esas operaciones, mientras que su impacto en eficiencia y experiencia de usuario deberá estimarse mediante el protocolo postimplementación.

3.1 EVIDENCIAS DE OPERACIÓN

Las Figuras 1 a 5 documentan el funcionamiento observado en el entorno institucional. Las capturas que contenían información personal fueron rasterizadas y anonimizadas antes de incorporarse al reporte.

Figura 1

Correo individual de constancia con archivo adjunto

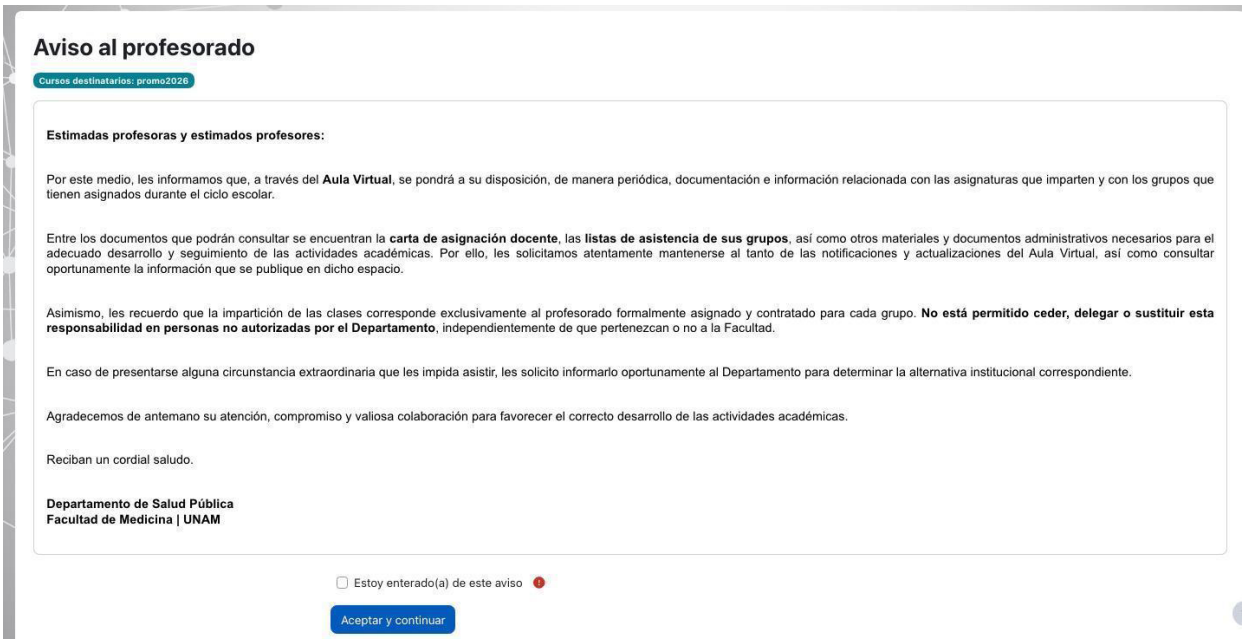


Nota. Captura de pantalla del entorno institucional. Se anonimizaron los datos de la persona destinataria y el contenido de la vista previa con apoyo de la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT (OpenAI, 2026).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 48 - 52

Figura 2

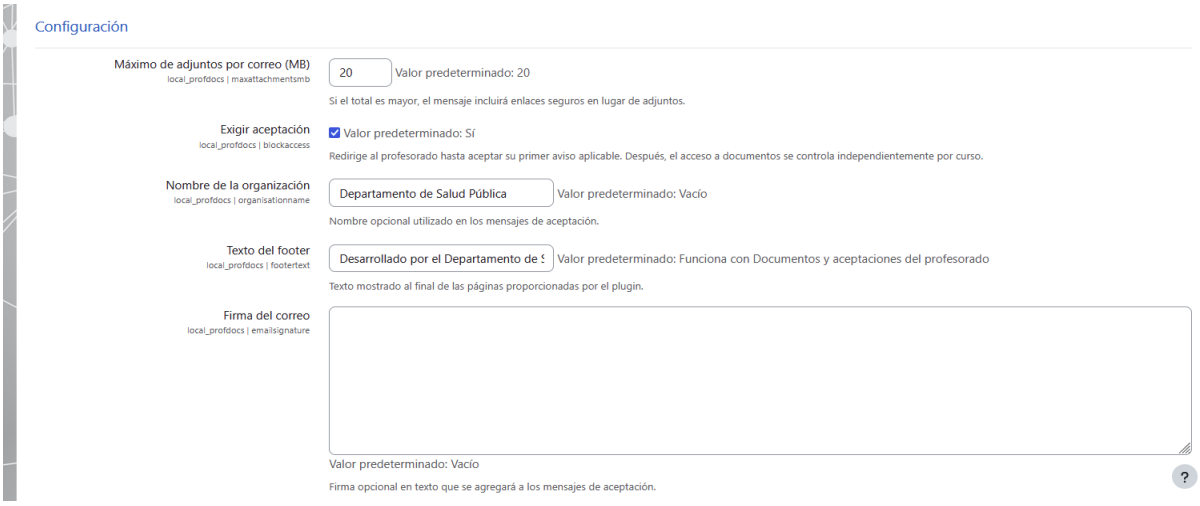
Aviso obligatorio dirigido a un curso



Nota. Captura de pantalla del entorno institucional. La pantalla presenta el alcance por curso, la casilla de confirmación y la acción para aceptar y continuar.

Figura 3

Configuración administrativa del plugin

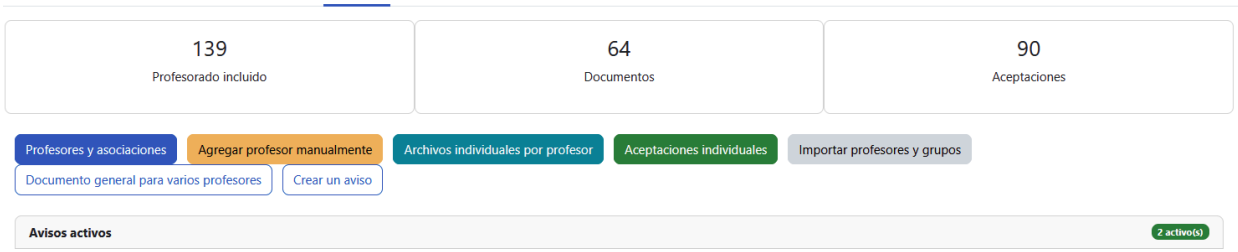


Nota. Se muestran el límite de adjuntos, la exigencia de aceptación, la organización, el pie institucional y la firma del correo. Captura propia del entorno institucional.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 49 - 52

Figura 4

Panel administrativo del plugin



Nota. Captura de pantalla del entorno institucional. Se muestran indicadores y accesos para asociaciones, altas, archivos, aceptaciones, importación y avisos.

Figura 5

Seguimiento individual de aceptaciones y envío de correo

Profesorado 01	usuario anonimizado correo anonimizado	1139 (spyc2026)	Aceptado	martes, 25 de agosto de 2026, 12:29	IP anonimizada	Enviado	Ver profesor
Profesorado 02	usuario anonimizado correo anonimizado	1130 (spyc2026)	Pendiente	—	IP anonimizada	—	Ver profesor
Profesorado 03	usuario anonimizado correo anonimizado	1107 (spyc2026)	Pendiente	—	IP anonimizada	—	Ver profesor
Profesorado 04	usuario anonimizado correo anonimizado	1153 (spyc2026)	Aceptado	lunes, 24 de agosto de 2026, 23:22	IP anonimizada	Enviado	Ver profesor
Profesorado 05	usuario anonimizado correo anonimizado	1106 (spyc2026)	Aceptado	lunes, 24 de agosto de 2026, 13:09	IP anonimizada	Enviado	Ver profesor
Profesorado 06	usuario anonimizado correo anonimizado	1141 (spyc2026)	Aceptado	martes, 25 de agosto de 2026, 11:43	IP anonimizada	Enviado	Ver profesor

Nota. Captura de pantalla del entorno institucional. Se anonimizaron nombres, nombres de usuario, correos electrónicos y direcciones IP con apoyo de la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT (OpenAI, 2026).

En conjunto, las Figuras 1 a 5 muestran el flujo desde la comunicación al profesorado hasta la configuración y el seguimiento administrativo. Su propósito es documentar la existencia y articulación de las funciones descritas, no sustituir la evaluación postimplementación. La evidencia visual complementa los escenarios de la Tabla 1 y permite distinguir entre la comprobación de funcionamiento del *software* y la medición futura de sus efectos en tiempos, satisfacción y adopción.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo desde cero de un *plugin* local y un bloque permitió sustituir un proceso documental disperso por un flujo integrado en Moodle para el profesorado y el personal académico-administrativo de una facultad pública de medicina. A lo largo de sus versiones, se relacionaron personas, cursos, grupos,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 50 - 52

avisos y archivos; se registraron aceptaciones individuales; se habilitaron cargas grupales, generales e individuales; y se protegió cada descarga. La autorización independiente por curso evitó que un aviso pendiente retirara el acceso a documentación ya aceptada. La separación entre *plugin* y bloque mantuvo una sola fuente de autorización y facilitó el acceso desde el tablero. La operación controlada con grupos institucionales mostró que estos componentes podían funcionar de forma integrada en el entorno real sin afirmar, por ello, una generalización a toda la población docente.

El desarrollo también mostró que una mejora administrativa requiere considerar migración, experiencia de usuario, privacidad, accesibilidad lingüística y operación, además de programación. La prioridad concedida al cambio obligatorio de contraseña evitó ciclos de redirección, mientras que la compatibilidad es_mx mejoró la coherencia de la interfaz institucional. Desde una perspectiva de replicabilidad, el proyecto documentó entidades, reglas de acceso, fases de instalación y configuración, escenarios de prueba y decisiones de migración. La siguiente etapa será aplicar la evaluación postimplementación descrita en este reporte, comparando tiempos de obtención de acuses y recuperando la opinión del profesorado. Hasta contar con esos datos, las conclusiones se limitan a la integración, trazabilidad y funcionamiento verificados. Por último, al desarrollar proyectos similares, se recomienda respaldar bases de datos y almacenamiento antes de actualizar, probar primero con cuentas docentes de varios cursos, verificar correo y enlaces, revisar periódicamente las asociaciones y definir políticas institucionales de conservación de evidencias.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Mtra. Elisa Yazmín Jiménez Flores por su apoyo en la revisión funcional del *plugin*, a la Dra. Dania Nimbe Lima Sánchez por su apoyo en la lectura y afinación del manuscrito y a las personas docentes que hicieron llegar comentarios sobre el uso de la herramienta durante su operación institucional.

Declaración de contribución de autoría

Jorge Alejandro Camacho Morales: Especialista en ingeniería en sistemas, desarrollo de *software*, salud digital y tecnología educativa. Fue desarrollador principal del *plugin* local y del bloque para Moodle. Participó como desarrollador principal de la solución tecnológica. Su contribución comprendió el levantamiento y análisis de los requerimientos, el diseño de la arquitectura, el modelado de la base de datos y el desarrollo desde cero del *plugin* local *Documentos del profesorado* y del bloque *Mis listas de asistencia* para Moodle 5. Implementó la gestión de avisos por curso, las aceptaciones individuales, la distribución de documentos por grupo y por profesor, la importación de asociaciones mediante archivos CSV y las descargas protegidas. Asimismo, desarrolló las migraciones entre versiones, corrigió incidencias relacionadas con duplicados, cambio obligatorio de contraseña e idioma es_mx, e incorporó controles de acceso, trazabilidad, configuración administrativa y envío de constancias por correo. También participó en las pruebas funcionales, la documentación técnica, la preparación de los paquetes instalables y la adecuación del desarrollo a los estándares requeridos para su futura publicación.

Alejandro Alayola Sansores: Especialista en salud digital, innovación tecnológica, gestión de proyectos y transformación digital institucional. Llevó a cabo la coordinación técnica e institucional del proyecto, contribuyendo a la vinculación de las necesidades académicas y administrativas con una solución tecnológica viable para el entorno Moodle de la Facultad de Medicina. Su intervención

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 51 - 52

apoyó la definición del alcance general, la priorización de funcionalidades y la revisión de los criterios de operación, seguridad, privacidad y sostenibilidad del desarrollo. Asimismo, colaboró en la valoración de la arquitectura propuesta, en la revisión de los mecanismos de acceso a los documentos y en la identificación de condiciones necesarias para la instalación, actualización y mantenimiento del *plugin* y del bloque. Su participación favoreció que el sistema se alineara con los objetivos del Departamento de Salud Digital y con los procesos institucionales de la Facultad. También contribuyó a la revisión de los resultados, la documentación del proyecto y la preparación de la solución para su implementación, difusión y eventual publicación dentro del ecosistema de complementos de Moodle.

Viridiana Robles González: Especialista en salud pública, educación médica, gestión académica y organización de procesos docentes. Realizó el análisis funcional y validación académica del proyecto desde la perspectiva del Departamento de Salud Pública. Su contribución permitió identificar las necesidades relacionadas con la entrega periódica de cartas de asignación, listas de asistencia y otros documentos dirigidos al profesorado. Colaboró en la definición del flujo de avisos, la aceptación individual, la organización de archivos por curso y grupo y la consulta administrativa de profesores pendientes o con aceptación registrada. También aportó criterios para que la redacción de los avisos y las pantallas del sistema respondiera a las necesidades de comunicación institucional y a la operación académica cotidiana. Participó en la revisión funcional del *plugin* con grupos de Salud Pública y Comunidad y de Promoción de la Salud en el Ciclo de Vida, proporcionando observaciones para mejorar la claridad, pertinencia y utilidad del sistema. Su intervención facilitó la correspondencia entre el desarrollo tecnológico y los procedimientos académicos reales.

José González Suárez: Especialista en salud pública, docencia, coordinación académica y operación de procesos educativos. Fue el enlace académico y responsable de validación operativa de la solución dentro de los procesos docentes del Departamento de Salud Pública. Su contribución se orientó a revisar que la relación entre profesores, cursos, grupos, avisos y documentos correspondiera con la organización académica utilizada institucionalmente. Apoyó la identificación de escenarios de uso, como la participación de un profesor en varios cursos, la asignación de más de un docente a un mismo grupo, la aceptación de avisos antes de la publicación de listas y la entrega posterior de archivos autorizados. Asimismo, participó en la revisión del comportamiento del *plugin* y del bloque desde la perspectiva de las personas usuarias, proporcionando retroalimentación sobre la consulta de documentos, el registro de aceptaciones y la recepción de constancias por correo. Sus observaciones contribuyeron a mejorar la claridad del flujo operativo, la pertinencia de las funciones administrativas y la integración de la herramienta con las actividades académicas del Departamento.

REFERENCIAS

Al-Fraihat, D., Joy, M., Masa'deh, R., y Sinclair, J. (2020). Evaluating e-learning systems success: An empirical study. *Computers in Human Behavior, 102*, 67-86. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.08.004

Cabero-Almenara, J., Arancibia, M. L., y Del Prete, A. (2019). Technical and didactic knowledge of the Moodle learning management system in higher education: Beyond functional use. *Journal of New Approaches in Educational Research*, *8*(1), 25-33. https://doi.org/10.7821/naer.2019.1.327

Cidral, W., Aparicio, M., y Oliveira, T. (2020). Students' long-term orientation role in e-learning success: A Brazilian study. *Heliyon*, *6*(12), e05735. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05735

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.214 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 52 - 52

Gamage, S. H. P. W., Ayres, J. R., y Behrend, M. B. (2022). A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *International Journal of STEM Education*, *9*, artículo 9. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00323-x

García-Murillo, G., Novoa-Hernández, P., y Serrano Rodríguez, R. (2023). On the technological acceptance of Moodle by higher education faculty-A nationwide study based on UTAUT2. *Behavioral Sciences*, *13*(5), 419. https://doi.org/10.3390/bs13050419

Moodle. (s. f.-a). *Access API*. Moodle Developer Resources.

Moodle. (s. f.-b). *Block plugins*. Moodle Developer Resources.

Moodle. (s. f.-c). *File API*. Moodle Developer Resources.

Moodle. (s. f.-d). *Privacy API*. Moodle Developer Resources.

OpenAI. (2026). *ChatGPT* [modelo de inteligencia artificial generativa]. https://chatgpt.com/

Raza, S. A., Qazi, W., Khan, K. A., y Salam, J. (2021). Social isolation and acceptance of the learning management system in the time of the COVID-19 pandemic: An expansion of the unified theory of acceptance and use of technology model. *Journal of Educational Computing Research*, *59*(2), 183-208. https://doi.org/10.1177/0735633120960421

Rueda-Gómez, K. L., Rodríguez-Muñiz, L. J., y Muñiz-Rodríguez, L. (2024). Factors that mediate the success of the use of online platforms to support learning: The view of university teachers. *Education and Information Technologies*, *29*, 2459-2482. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11916-0

Sanchez, L., Penarreta, J., y Soria Poma, X. (2024). Learning management systems for higher education: A brief comparison. *Discover Education*, *3*, artículo 58. https://doi.org/10.1007/s44217-024-00143-5

Simon, P. D., Jiang, J., Fryer, L. K., King, R. B., y Frondozo, C. E. (2025). An assessment of learning management system use in higher education: Perspectives from a comprehensive sample of teachers and students. *Technology, Knowledge and Learning*, *30*, 741-767. https://doi.org/10.1007/s10758-024-09734-5

Turnbull, D., Chugh, R., y Luck, J. (2021). Transitioning to e-learning during the COVID-19 pandemic: How have higher education institutions responded to the challenge? *Education and Information Technologies*, *26*, 6401-6419. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10633-w

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 53 - 67

Sistema automatizado de recuperación de datos históricos del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra

Automated historical data retrieval system for the Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra

Alejandro Aguilar Sierra
Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
asierra@unam.mx
ORCID: 0000-0003-1018-8521

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Aguilar Sierra, A. (2026). Sistema automatizado de recuperación de datos históricos del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (53 - 67). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208

Resumen

Después de ocho años de operación, el sistema de almacenamiento del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra llegó a un volumen de datos satelitales históricos cercano a un petabyte. Para facilitar la consulta y recuperación de datos de este acervo, se diseñó e implementó una infraestructura integral con tres componentes distribuidos: una interfaz web para que un usuario haga una solicitud detallada de datos, un servicio asíncrono para la obtención de dichos datos y un servicio de creación de cuentas virtuales temporales para descarga. Se puso a prueba en proyectos reales con una selección fina de fechas y horarios y se completó el proceso de recuperación de un volumen considerable de datos: 890 mil archivos y 7.02 terabytes casi sin intervención de un intermediario humano, lo que demostró que el funcionamiento del sistema fue efectivo y dejó experiencia para mejorarlo.

Palabras clave: Django, FastAPI, orquestación de servicios, procesamiento asíncrono, teledetección.

Abstract

After eight years of operation, the storage system at the Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra reached a historical satellite data volume approaching one petabyte. To facilitate querying and data retrieval from this repository, a comprehensive infrastructure comprising three distributed

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 54 - 67

components was designed and implemented: a web interface enabling users to submit detailed data requests, an asynchronous service for data extraction, and a provisioning service that creates temporary virtual accounts for downloading. The system was tested in real-world projects requiring a fine-grained selection of dates and times, successfully completing the retrieval process for a substantial data volume—890,000 files and 7.02 terabytes. This was achieved efficiently and with almost no human intervention, demonstrating the system's operational effectiveness and yielding valuable insights for future enhancements.

Keywords: *Django, FastAPI, service orchestration, asynchronous processing, remote sensing.*

1. INTRODUCCIÓN

El LANOT (Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra), UNAM, distribuye datos de satélite en tiempo real esenciales para la prevención de riesgos, estudios territoriales y el monitoreo de fenómenos atmosféricos. Como se mencionó en trabajos previos (Aguilar Sierra, 2020, 2025), el volumen masivo de datos que se reciben diariamente hace imposible mantenerlos por mucho tiempo en los servidores de distribución y es preciso transferirlos al sistema de almacenamiento del LANOT. Dentro del clúster, los datos están bien organizados, pero un usuario sin acceso a él no podía aprovechar el acervo. La elaboración de una solicitud requería armar una lista larga de productos, fechas y horarios, lo que resultaba laborioso y propenso a errores.

Sudmanns *et al*. (2020), en su análisis de la gestión de datos de observación de la Tierra, comentan que este crecimiento sin precedentes del volumen de datos requiere cambios disruptivos en la manera en que los usuarios interaccionan con los datos. Knapp y Wilkins (2018) señalan que la demanda sobre los acervos satelitales históricos creció mientras el soporte de sus formatos se estancó, por lo que se deben facilitar los datos en una amplia gama de aplicaciones. Para el sistema de almacenamiento del LANOT, originalmente se desarrolló un programa en Python que interpretaba una lista anidada de fechas y productos, así como localizaba archivos individuales, los extraía y los colocaba en una carpeta temporal. En cuatro años, se atendieron ocho solicitudes mayores con este sistema. Este proceso era funcional, pero requería la intervención humana especializada para traducir una consulta detallada a esa estructura de datos en Python y construir el acceso para descarga. El 2 de octubre de 2024, se entregó a la dirección del Instituto de Geografía la propuesta de un nuevo sistema, el tema de este reporte técnico.

El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar un sistema que permitiera a los usuarios recuperar datos históricos satelitales de forma asíncrona y eficiente, con una mínima intervención humana.

2. DESARROLLO TÉCNICO

Inicialmente, se consideró conservar el programa en Python que ya realizaba parte del trabajo y complementarlo con la interfaz que faltaba para permitir a un usuario final construir su consulta. Se observó que ese programa era insuficiente para un flujo automático, seguro y a prueba de errores, ya que dependía de un experto en el sistema de almacenamiento. Se decidió diseñar un sistema nuevo.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 55 - 67

2.1 METODOLOGÍA

Como punto de partida, se tomó en cuenta la experiencia con las solicitudes anteriores, que requerían la entrega de archivos originales a usuarios ajenos al clúster, respaldo de la nube cuando faltara un archivo y que una recuperación tardaba horas o días, por lo que el proceso tenía que ser asíncrono y el registro de la solicitud separado de su ejecución. El usuario no podía esperar una respuesta inmediata.

Se priorizó el diseño de una interfaz de usuario granular y eficiente. Una vez avanzada dicha interfaz, el siguiente paso fue la automatización de la búsqueda y recuperación de archivos de datos del sistema de almacenamiento. Al ser un desarrollo individual, no se utilizó una metodología tipo Scrum, sino un desarrollo iterativo e incremental. Se completó un piloto que fue probado con una aplicación real (caso 1 de la Tabla 5); con base en esa experiencia, la herramienta se mejoró y se puso en producción para el caso 2, presentado en la Tabla 5 del apartado de Resultados.

2.1.1 DISEÑO

El patrón de diseño MRDP (*Modern Research Data Portal*) propuesto por Chard *et al*. (2018) resuelve las limitaciones de los sistemas monolíticos tradicionales al desacoplar el servidor web de los servicios dedicados a la extracción y transferencia de los datos. Siguiendo este patrón, se definió una arquitectura cliente-servidor con base en tres servicios:

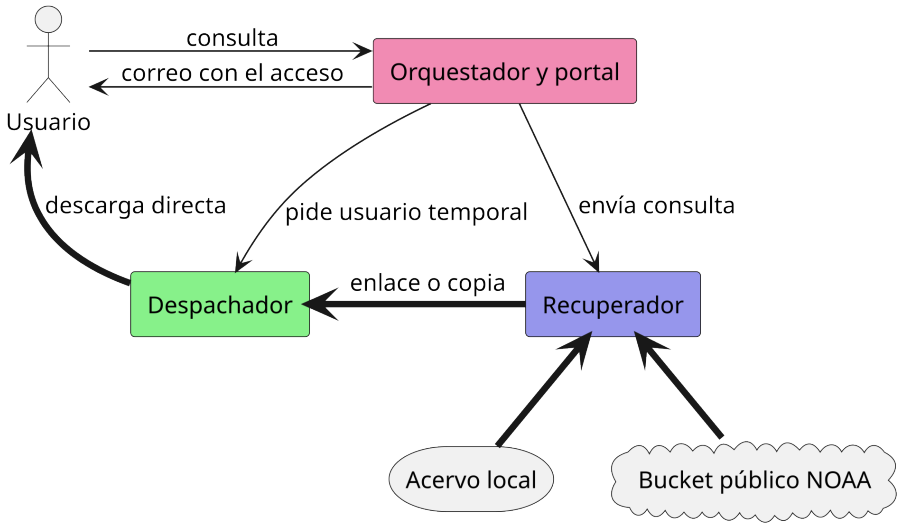
1. Orquestador: interfaz web que permite al usuario construir consultas de datos históricos y es a la vez orquestador de todo el proceso.
2. Recuperador: se encarga de recuperar los datos solicitados de manera asíncrona, pues es un proceso que puede tardar horas y, en algunos casos, días.
3. Despachador: servicio de descarga segura mediante cuentas virtuales FTP en depósitos temporales.

El usuario crea su solicitud, el orquestador la prepara y la envía al recuperador, quien a su vez recupera los datos y, cuando termina, el orquestador solicita al despachador que genere una cuenta virtual FTP y aloje los datos temporalmente para que el usuario pueda descargarlos en un plazo prestablecido. Esta arquitectura se ilustra en la Figura 1.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 56 - 67

Figura 1

Arquitectura del sistema

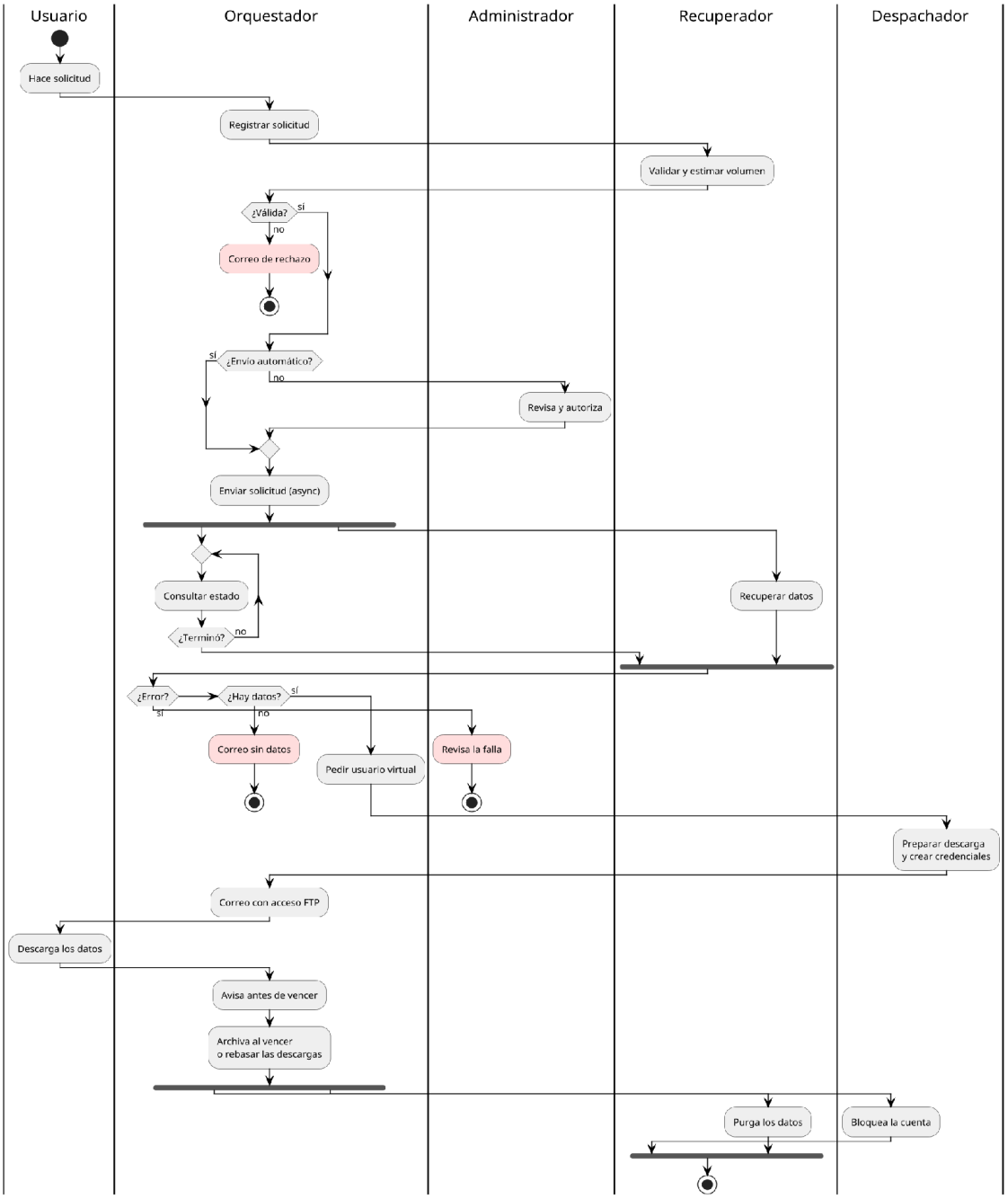


La Figura 2 muestra todo el flujo del proceso, desde que el usuario crea su solicitud hasta que se archiva y se purgan los datos. También muestra las interacciones entre los actores.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 57 - 67

Figura 2

Diagrama de actividad



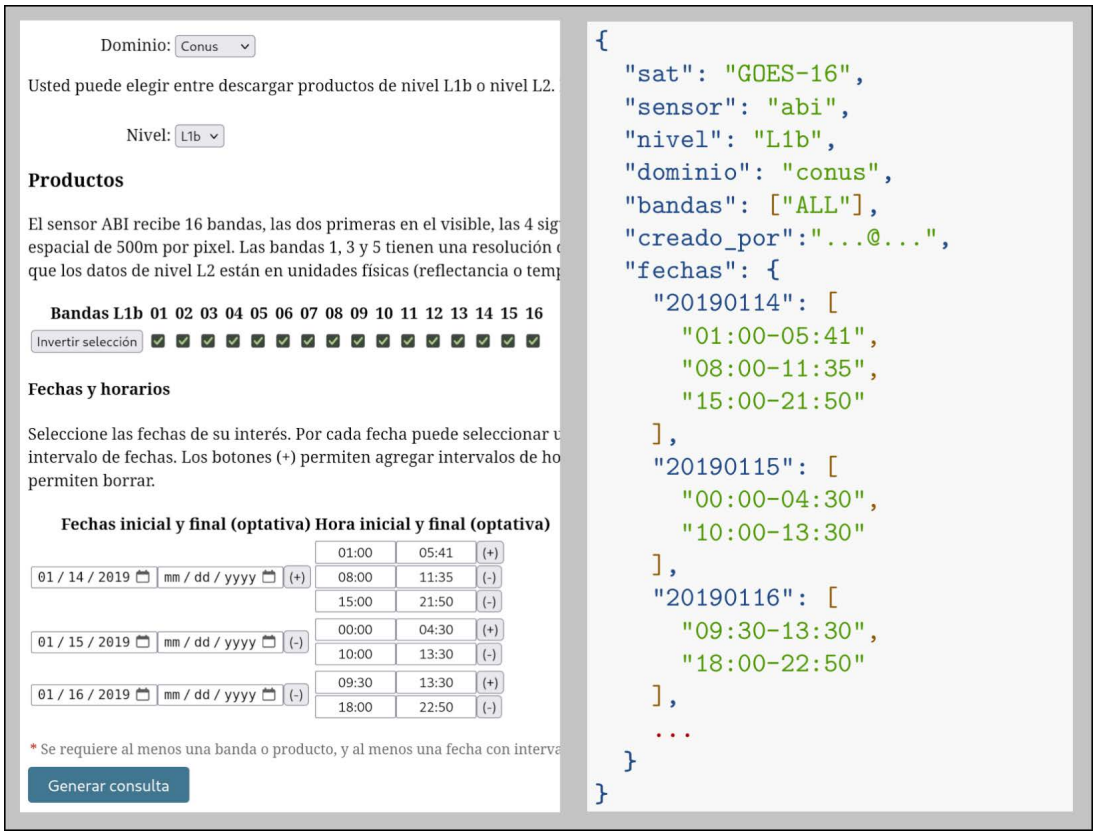
Nota: Se usó la ayuda de Claude Code Opus 5.5 de Anthropic para agregar el actor administrador y sus dos interacciones sin trastornar el resto de la figura original

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 58 - 67

El contrato de consulta se escribe en un solo objeto JSON con satélite, sensor, nivel, bandas y productos, dominio y un diccionario de fechas con intervalos de horarios. Como señalan Mohr *et al.* (2025), el uso de documentos JSON para definir procesos proporciona un formato agnóstico al lenguaje que facilita la interoperabilidad entre múltiples clientes y servicios.

Figura 3

Interfaz web y JSON resultante



Nota. El botón "Invertir selección" selecciona todas las bandas que no hayan sido seleccionadas y deselecciona las que sí. Si todas son seleccionadas, no se envía una lista de bandas sino la palabra clave "ALL". Los botones (+) permiten añadir intervalos de fechas y de horarios y de esa manera se puede construir una consulta densa en una única interacción.

En una sola solicitud, puede caber una selección discontinua de distintas fechas y horas. Este mismo objeto viaja por los tres servicios. En la Figura 3, se muestra un ejemplo de solicitud detallada y, a la derecha, su JSON correspondiente.

2.1.2 CONFIGURACIÓN

La mayor parte de la configuración se realizó mediante variables de entorno. Además, cada servicio tiene su propio ambiente aislado de trabajo con sus requerimientos específicos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 59 - 67

Tabla 1

Ejemplo mínimo de configuración con variables de entorno

Servicio	Variable	Qué define	Valor por omisión
Orquestador	ENVIRONMENT	Perfil de despliegue: desarrollo o producción	development
Orquestador	AUTOMATION_MAX_SIZE_MB	Volumen estimado por debajo del cual la consulta se envía sin autorización humana	5120
Orquestador	FTP_DEFAULT_VIGENCIA_DAYS	Días que vive el acceso temporal antes de revocarse	10
Orquestador	MAX_FTP_DOWNLOADS	Máximo número de descargas	8
Orquestador	FTP_EXPIRY_WARNING_DAYS	Días antes del vencimiento para enviar aviso	2
Recuperador	PROCESSOR_MODE	Modo de operación: real o simulador	real
Recuperador	LUSTRE_ENABLED · S3_ENABLED	Habilitan por separado cada origen de datos	true · true
Recuperador	MIN_FREE_SPACE_GB_BUFFER	Margen de disco que la validación previa requiere, en GB	10

Nota. Cada servicio puede sobrescribir estos valores en su propio archivo de entorno.

En la raíz del servicio, se instala un archivo *.env* con la definición de sus variables de entorno. Una lista de algunas de estas variables se muestra en la Tabla 1.

2.1.3 INSTALACIÓN

El orquestador funciona como una aplicación interactiva Django que debe instalarse en un servidor web. Tanto el recuperador como el despachador son aplicaciones FastAPI. El despachador además debe convivir con un servidor FTPS (*File Transfer Protocol Secure*), que cifra todo lo que viaja y exige conexión con TLS (*Transport Layer Security*) 1.2 o superior.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 60 - 67

Tabla 2

Infraestructura del sistema en operación

Componente	Servidor web	Servidor de procesamiento
Servicios	Orquestador y su base de datos	Recuperador; despachador con el servidor FTPS y su base de datos
Equipo	Dell PowerEdge R940	ASUS ESC4000-E10
Procesadores	4 × Intel Xeon Gold 6128 a 3.4 GHz: 24 núcleos, 48 hilos	2 × Intel Xeon Gold 6326 a 2.9 GHz: 32 núcleos, 64 hilos
Memoria	251 GiB	251 GiB
Almacenamiento local	19.6 TB en RAID por *hardware*, XFS	37 TB en cuatro discos de 10 TB con LVM y 1.9 TB en NVMe, XFS
Almacenamiento compartido	—	Acervo en Lustre de 910 TB
Red	2 × 1 Gb/s	1 Gb/s pública y 10 Gb/s interna
Sistema operativo	Debian GNU/Linux 13, kernel 6.12	Rocky Linux 10.2, kernel 6.12
Python	3.13.5	3.12.14
Marco web y servidor de aplicaciones	Django 5.2.8; Apache 2.4 con mod_wsgi 5.0	FastAPI 0.128.0 y 0.122.0; Uvicorn 0.40.0 y 0.38.0; Gunicorn 25.0.1
Bases de datos	PostgreSQL 17.11	SQLite 3.46.1; MariaDB 10.11.18
Otros	—	Pure-FTPd 1.0; cliente Lustre 2.17.0; s3fs 2026.1.0; rsync 3.5.0

Nota. Ambos son servidores físicos, sin virtualización. Datos medidos el 20 de octubre de 2026.

Los tres servicios corren en el sistema operativo Linux bajo systemd con reinicio automático. La máquina de estados avanza con un *timer* en el orquestador que sondea al recuperador las consultas en curso y encola los avisos correspondientes. Otro *timer* en el despachador retira los accesos temporales vencidos. La infraestructura actual con dos servidores se detalla en la Tabla 2.

2.1.4 PRUEBAS

Los tres repositorios tienen *suites* de pruebas automatizadas. El recuperador tiene un modo simulador con dos tasas de éxito independientes, cada una asociada al origen, local o nube, lo que permite reproducir fallas y sus respuestas sin afectar el acervo. Cada vez que se hace un cambio importante, se ejecutan las pruebas antes de integrar los cambios.

2.2 DESARROLLO

Inicialmente, se armó y se probó un prototipo de la interfaz en HTML y JavaScript. Posteriormente, se implementó el orquestador en Django y se invitó a posibles usuarios reales a probarlo; con su retroalimentación, se hicieron ajustes, como limitar las fechas y agregar un selector de horas y minutos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 61 - 67

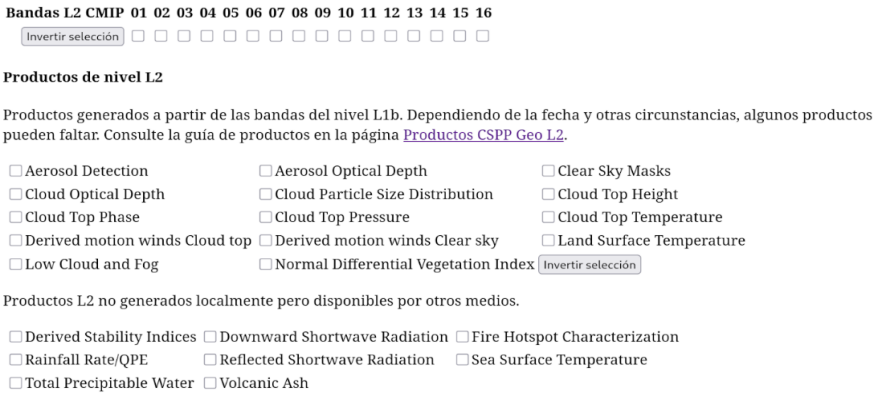
Después, se agregaron los otros dos servicios, primero el recuperador y después el despachador, ambos con FastAPI. La comunicación entre ellos se realiza mediante mensajes en formato JSON. Todo el sistema se desarrolló con *frameworks* web en lenguaje Python.

El usuario captura su consulta con toda la información necesaria: satélite, sector, bandas e intervalos de fechas y horarios. Se implementó en JavaScript un mecanismo que permite al usuario agregar un número prácticamente ilimitado de fechas e intervalos, como se muestra en la Figura 3.

Si el usuario elige el nivel L2, la interfaz despliega los productos correspondientes disponibles, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Interfaz web con los productos disponibles de nivel dos



Una vez formulada la consulta, se envía al recuperador en formato JSON validado con un esquema formal en ambos lados y recibe otro JSON como respuesta. Como ya se mencionó, una consulta grande puede tardar horas o hasta días en ser completada. El orquestador consulta el estado de la solicitud y, una vez que el recuperador termina, responde con un JSON como el de la Figura 5.

Figura 5

JSON de la respuesta del recuperador cuando una consulta ha sido completada

```
{
    "consulta_id": "aBcDeF12",
    "estado": "completado",
    "progreso": 100,
    "ruta_destino": "/.../aBcDeF12",
    "total_mb": 12345.67,
    "total_archivos": 112,
    "archivos_lustre": 110,
    "archivos_s3": 2,
    "timestamp": "2025-11-20T15:35:10.654321"
}
```

Nota. En este ejemplo, se recuperaron 112 archivos que ocupan un total de 12.345 GB. La ruta destino se nombra con el identificador de la consulta, que es una cadena alfanumérica (ficticia en este ejemplo).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 62 - 67

El orquestador solicita al despachador que genere una cuenta virtual y brinde acceso a los datos recuperados. El despachador verifica que exista espacio en su disco de trabajo para copiar los datos recuperados, o crear enlaces simbólicos si se encuentra en el mismo servidor que el recuperador, genera la cuenta virtual en la base de datos del servidor FTP y devuelve la respuesta con la contraseña cifrada con una llave que comparte con el orquestador, como muestra la Figura 6.

Figura 6

JSON de la respuesta del despachador cuando la descarga por FTP está preparada

```
{
    "status": "listo",
    "ftpuser": "ftp_usuario_institucion",
    "password": "..",
    "vigencia": 10,
    "mensaje": "Listo, tiene 10 días para hacer la descarga.",
    "descargas": {
        "total_descargas": 0,
        "ultima_descarga": null
    }
}
```

Nota. La respuesta incluye un campo para el número de descargas realizadas y la fecha de la última descarga.

Con esta información, el orquestador envía un correo electrónico al usuario con las credenciales que solamente el usuario podrá ver. Por cada solicitud, se crea una contraseña nueva con 12 caracteres alfanuméricos al azar. En el servidor FTP, se guarda un *hash* Argon2id irreversible. Es importante destacar que el acceso es de sólo lectura, no se pueden subir archivos ni renombrarlos, no puede salir de su carpeta asignada y, si rebasa el límite de descargas, se bloquea. Se envía un aviso por correo cuando faltan dos días para que venza el acceso. Cuando vence la vigencia de la descarga, la consulta es archivada, la cuenta FTP bloqueada y el espacio en disco se recupera, pero la historia de todo el proceso permanece en la base de datos del orquestador.

Para llevar un control de todo el proceso, manejar errores o interrupciones de servicio, el orquestador mantiene un registro del estado de cada consulta y quién es responsable de la misma en cada momento. Los posibles estados se muestran en la Tabla 3.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 63 - 67

Tabla 3

Posibles estados de una consulta

Estado	Responsable	Descripción
pendiente	Orquestador	Estado inicial. La consulta fue ingresada por el usuario pero aún no se valida.
validado	Orquestador	La consulta fue validada por el recuperador. Número de archivos y tamaño total estimados.
en_proceso	Recuperador	La consulta fue aceptada por el recuperador y está siendo procesada
completado	Recuperador	Terminó la recuperación y los archivos están disponibles en disco.
error	Recuperador	Ocurrió un error durante el procesamiento o la comunicación con la API
sin_datos	Orquestador	El recuperador completó, pero no encontró ningún archivo (total_archivos == 0).
rechazada	Orquestador	La consulta fue rechazada por el validador o manualmente por el administrador.
ftp_listo	Despachador	El despachador creó el acceso FTP temporal y el usuario ya puede descargar.
mail_ftp_enviado	Orquestador	Se envió al cliente el correo con las credenciales de acceso FTP.
mail_sin_datos_enviado	Orquestador	Se envió al cliente el correo informando que no se encontraron datos.
mail_rechazo_enviado	Orquestador	Se envió al cliente el correo con el motivo del rechazo.
archivada	Orquestador	Consulta cerrada y recursos liberados: acceso FTP revocado y archivos purgados en el recuperador.

En la interfaz web del administrador, es posible gestionar los usuarios registrados y las consultas. Existen tres niveles de prioridad para cada usuario: *staff*, *client* y *none*. En el caso *staff*, la automatización termina con el estado completado, pues ese usuario tiene acceso al clúster y puede descargar sus datos directamente. El *client* dispone de un servicio automatizado integral, que prosigue hasta la creación de su cuenta FTP temporal y un tiempo de tolerancia para descargar sus datos. Para que un usuario con prioridad *none* pueda recibir el servicio, un administrador humano debe activar su consulta, ascenderlo a *client*, o bien rechazar su consulta. Una vez activada, el resto del proceso es automático.

Si los datos a recuperar no se encuentran en el acervo local, se buscan en la nube en el archivo abierto de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, por sus siglas en inglés) (Ansari *et al*., 2018). Como advierten Abernathey *et al*. (2021), intentar replicar y almacenar localmente la totalidad de los catálogos del *Big Data* científico resulta insostenible, ya que múltiples instituciones terminan duplicando los mismos conjuntos masivos de datos. Al integrar la capacidad de consultar dinámicamente los

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 64 - 67

repositorios en la nube como mecanismo de respaldo, el sistema del LANOT mitiga ese problema. La Tabla 4 lista las posibles fallas y sus respuestas correspondientes.

Tabla 4

Manejo de errores y reintentos

Servicio	Falla	Respuesta del sistema	Valores por omisión
Orquestador	El recuperador o el despachador no responde	Corta la llamada sin cambiar el estado y la repite en el siguiente ciclo	60 s de espera; ciclo de 1 min
Orquestador	El validador no responde o no hay espacio en disco	La consulta no se rechaza: queda pendiente y el administrador puede volver a validarla	Margen de 10 GB libres
Orquestador	Falla el envío de un correo	La notificación queda en la cola y se reintenta; si se agotan los intentos, se registra	3 intentos, uno por ciclo
Orquestador	No se confirma la baja en el despachador o en el recuperador	No archiva la consulta y lo intenta de nuevo	Cada minuto
Recuperador	Falla la consulta completa	La vuelve a encolar con espera creciente; agotados los intentos, queda en error para el administrador	3 intentos, a 1, 5 y 15 min
Recuperador	El proceso de trabajo se detiene a medio procesar	Otro proceso retoma la consulta al vencer su reserva	15 min
Recuperador (nube)	Falla la descarga de un archivo	Reintenta con espera exponencial	3 intentos; conexión 5 s, lectura 30 s
Recuperador (nube)	Fallas consecutivas	Corte de circuito: suspende el acceso a la nube y lo prueba de nuevo tras una pausa	Se abre con 5 fallos; prueba a los 60 s
Despachador	No se crea el acceso de descarga	Si la solicitud no llegó, se reenvía en el siguiente ciclo; si falló, el administrador la reintenta desde el panel	Ciclo de 1 min

Para evitar que procesos individuales bloqueen el sistema, se usa un tiempo de espera máximo por archivo. El manejo de excepciones realiza un número acotado de reintentos ante cualquier falla de recuperación, que puede deberse a desconexiones pasajeras o cualquier causa fuera del control del sistema. Si el problema persiste, se interrumpe un minuto antes de reintentar. Si funciona, se reanuda la operación normal, de lo contrario se repite la pausa. Si el proceso se cae, otro proceso retoma la solicitud.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 65 - 67

De este modo, el sistema se recupera solo, sin intervención. Los archivos que faltaron se agregan a una lista. Las notificaciones se encolan en la base de datos para su envío posterior por correo electrónico. Esta asincronía evita que la lentitud o caída de un servidor de correo bloquee la petición.

3. RESULTADOS

El sistema se puso a prueba con dos proyectos reales de detección de ceniza volcánica con imágenes del satélite GOES-16: el primero enfocado en el volcán Popocatépetl (artículo actualmente sometido a revista especializada) y el segundo en volcanes de Chile. La Tabla 5 muestra un resumen de las solicitudes y sus respuestas.

Tabla 5

Dos casos grandes validados

Criterio	Caso 1 · Popocatépetl	Caso 2 · Volcanes de Chile
Prioridad	*staff*	*client*
Consultas atendidas	11	19
Periodo cubierto por las solicitudes	212 días sueltos de 2019, 2020, 2023 y 2024 — un arco de seis años	13 días sueltos de 2019, 2020, 2022 y 2023 — un arco de cuatro años
Ventanas horarias distintas	376	18
Bandas y productos pedidos	16 bandas · 21 productos	16 bandas · 23 productos
Cobertura	CONUS, cadencia de cinco minutos	Disco completo (Chile no está en CONUS)
Archivos recuperados	828 616	61 633
Volumen recuperado	5.06 TB	1.96 TB
Recuperación mayor	Una consulta de 155 días de un año a cadencia de cinco minutos: 229 913 archivos en 20.6 h	Una consulta de tres días completos con 23 productos: 13 680 archivos en 45.8 min

En dos proyectos, se obtuvieron 890,249 archivos de datos y 7.02 TB, una cantidad de información que habría requerido muchas horas de ser realizada a mano. Kruskopf *et al*. (2025) reportan que ClimateSERV — una herramienta del programa SERVIR de la NASA— registró más de un millón de accesos a datos por parte de más de once mil usuarios durante un periodo de dos años (2023–2024). ClimateSERV responde a las limitaciones computacionales de sus centros regionales con reducciones de datos del lado del servidor. El sistema aquí reportado implementa reducciones al permitir una selección detallada de fechas, horas y productos, lo que evita que el usuario deba lidiar con transferencias de conjuntos completos de datos. En el caso 1, se descargaron sólo 212 días (~10%) de un total de 2 176 que habrían sido descargados sin esa selección.

En su revisión de siete plataformas para la gestión y el análisis de datos satelitales, Gomes *et al*. (2020) definen 10 capacidades que sirven como criterios para evaluarlas: abstracción de datos, abstracción del procesamiento, abstracción de la infraestructura física, gobernanza abierta, reproducibilidad de la ciencia,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 66 - 67

replicabilidad de la infraestructura, escalabilidad del procesamiento, escalabilidad del almacenamiento, interoperabilidad del acceso a datos y extensibilidad. Respecto a la abstracción de datos, el usuario arma su consulta sin saber la localización de los archivos o si están en el acervo local o en la nube y define con detalle el criterio temporal. Sin embargo, al no contar con una selección espacial arbitraria y entregar sólo archivos originales, el cumplimiento es parcial. En cuanto a la escalabilidad del almacenamiento, la consulta no requiere especificar rutas; si el archivo no se encuentra en el acervo local, se busca en la nube. El crecimiento continuo, tanto local como en la nube, no cambia la consulta. Las capacidades ajenas al proyecto corresponden al procesamiento y a las plataformas comunitarias.

4. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que este sistema es capaz de satisfacer un conjunto de consultas muy exigentes de recuperación de datos históricos con intervención mínima de un administrador humano. Se recuperaron 890 249 archivos y 7.02 TB en dos proyectos y, gracias a la selección temporal detallada, sólo fue necesario descargar un porcentaje menor de archivos. Entre las limitaciones actuales, está la falta de selección espacial libre, la entrega de únicamente archivos originales sin procesamiento y el envío de contraseña por correo electrónico sin cifrar. El sistema está en operación y seguirá mejorando conforme aparezcan nuevas necesidades con más usuarios y proyectos. En un futuro, se agregarán otros satélites, como los del Sistema Conjunto de Satélites Polares (JPSS, por sus siglas en inglés) de la NOAA, y se implementarán nuevos mecanismos de interoperabilidad de datos, como el estándar STAC (*SpatioTemporal Asset Catalog*; Mohr *et al*., 2025).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Víctor Jiménez Escudero por confiar en las versiones de desarrollo de este sistema para utilizarlo en sus proyectos de detección de ceniza volcánica y facilitar los casos de estudio intensivos para probar tanto su alcance como sus limitaciones y mejorarlo.

REFERENCIAS

Abernathey, R. P., Blackmon-Luca, C. C., Crone, T. J., Henderson, N., Lepore, C., Augspurger, T., Banihirwe, A., Hamman, J. J., Gentemann, C. L., McCaie, T. A., Robinson, N. H., y Signell, R. P. (2021). Cloud-native repositories for big scientific data. *Computing in Science & Engineering*, *23*(2), 26–35. https://doi.org/10.1109/MCSE.2021.3059437

Aguilar Sierra, A. (2020). *Sistema de almacenamiento para el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra* [tesis de especialidad, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. https://tesiunam.dgb.unam.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=802512

Aguilar Sierra, A. (2025). Clúster de software libre del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC*, *3*(2), 24–34. https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.2.107

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.208 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 67 - 67

Ansari, S., Del Greco, S., Kearns, E., Brown, O., Wilkins, S., Ramamurthy, M., Weber, J., May, R., Sundwall, J., Layton, J., Gold, A., Pasch, A., y Lakshmanan, V. (2018). Unlocking the potential of NEXRAD data through NOAA's Big Data Partnership. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *99*(1), 189–204. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0021.1

Chard, K., Dart, E., Foster, I., Shifflett, D., Tuecke, S., y Williams, J. (2018). The Modern Research Data Portal: A design pattern for networked, data-intensive science. *PeerJ Computer Science*, *4*, e144. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.144

Gomes, V. C. F., Queiroz, G. R., y Ferreira, K. R. (2020). An overview of platforms for big Earth observation data management and analysis. *Remote Sensing*, *12*(8), 1253. https://doi.org/10.3390/rs12081253

Knapp, K. R., y Wilkins, S. L. (2018). Gridded Satellite (GridSat) GOES and CONUS data. *Earth System Science Data*, *10*(3), 1417–1425. https://doi.org/10.5194/essd-10-1417-2018_

Kruskopf, M., Gilliland, L., Roberts, B., Markert, A., Ashmall, W., y Limaye, A. (2025). ClimateServ: An open source earth observation climate data access tool. *Environmental Modelling & Software*, *194*, 106709. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106709

Mohr, M., Pebesma, E., Dries, J., Lippens, S., Janssen, B., Thiex, D., Milcinski, G., Schumacher, B., Briese, C., Claus, M., Jacob, A., Sacramento, P., & Griffiths, P. (2025). Federated and reusable processing of Earth observation data. *Scientific Data*, *12*(1), 194. https://doi.org/10.1038/s41597-025-04513-y

Sudmanns, M., Tiede, D., Lang, S., Bergstedt, H., Trost, G., Augustin, H., Baraldi, A., y Blaschke, T. (2020). Big Earth data: Disruptive changes in Earth observation data management and analysis? *International Journal of Digital Earth*, *13*(7), 832–850. https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 68 - 81

Automatización asistida por inteligencia artificial generativa de la publicación de boletines en un blog institucional universitario

Generative artificial intelligence-assisted automation of bulletin publishing on a university institutional blog

Miriam Esther Olguin Hernández
Centro de Investigaciones sobre América del Norte
Universidad Nacional Autónoma de México
molguinh@unam.mx
ORCID: 0009-0008-8053-2870

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Olguin Hernández, M.E. (2026). Automatización asistida por inteligencia artificial generativa de la publicación de boletines en un blog institucional universitario. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (68 - 81). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201

Resumen

Una dependencia universitaria publica periódicamente contenidos de análisis especializado a través de un blog institucional alojado en un servicio de blogs de uso extendido. Dicho sitio operaba bajo una interfaz de publicación desactualizada y dependía de la carga manual e individual de cada contenido, lo que generó un rezago de más de 100 materiales pendientes de difusión. Con base en experiencias técnicas previas favorables en el uso de inteligencia artificial generativa dentro de la misma entidad, se optó por utilizar este tipo de apoyo como guía para construir un esquema de solución automatizada.

El desarrollo inició con el apoyo de un modelo de inteligencia artificial generativa, sustituido tras una primera evaluación por un segundo modelo, el cual propuso una arquitectura de tres capas: una orientada a los datos, otra a la presentación visual y otra a la ejecución del proceso de publicación. Con base en dicho esquema, el trabajo se desarrolló en cinco etapas sucesivas: la extracción automatizada de datos a partir de archivos almacenados en la nube, el diseño de una plantilla editorial con identidad institucional, la configuración de una conexión segura entre la fuente de datos y la plataforma de destino, la ejecución del proceso de publicación y el ajuste de la identidad visual general del blog.

Como resultado, se procesó la totalidad del rezago acumulado y se reemplazó la interfaz previa por una con identidad institucional, vista previa funcional y descarga

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 69 - 81

directa de cada documento. El sistema demostró la capacidad para sostener el flujo editorial de forma estable en los periodos posteriores. La experiencia permitió adquirir y consolidar competencias en autenticación dentro de entornos en la nube, administración de cuotas de ejecución e integración de servicios sin recurrir a soluciones de desarrollo convencionales.

Palabras clave: Autenticación en la nube, diseño de plantillas web, herramientas de bajo código, optimización de procesos.

Abstract

A university unit sustains the periodic circulation of specialized analytical content through an institutional blog hosted on a widely used blog publishing platform. This platform operated with an outdated publishing interface and relied on the manual, individual upload of each item of content, resulting in a backlog of more than 100 items pending publication. Based on the unit's own favorable prior technical experience using generative artificial intelligence, this type of support was adopted as guidance to build an automated solution scheme.

Development began with the support of one generative artificial intelligence model, which was replaced, following an initial evaluation, by a second model; the latter was used to structure an architecture organized into three components: one focused on data, another on visual presentation, and another on executing the publication process. Based on this scheme, the work was carried out in five successive stages: the automated retrieval of data from documents stored in the cloud, the design of an editorial template with institutional identity, the configuration of a secure connection between the data source and the destination platform, the execution of the publication process, and the adjustment of the site's overall visual identity.

As a result, the entire accumulated backlog was processed, and the previous interface was replaced with one featuring institutional identity, a functional preview, and direct document download, while also demonstrating the capacity to sustain a stable editorial flow in subsequent periods. The experience made it possible to acquire and consolidate competencies in cloud-based authentication, execution quota management, and service integration without relying on traditional development frameworks.

Keywords: *Cloud-based authentication, web template design, low-code tools, process optimization.*

1. INTRODUCCIÓN

En el entorno universitario, la publicación periódica de materiales editoriales especializados constituye una herramienta significativa para preservar la vigencia del conocimiento generado y su interacción con audiencias expertas y no expertas. En la dependencia universitaria donde se desarrolló el proyecto documentado en este reporte técnico, dicha publicación se mantiene mediante un portal digital, gestionado a través de la plataforma Blogger y orientado a la circulación regular de contenidos de análisis sobre temáticas de coyuntura regional e internacional. La importancia de disponer de mecanismos eficaces de publicación radica en que la acumulación de materiales sin difundir pone en riesgo la vigencia de la información, ya que el desfase entre la elaboración de un contenido y su divulgación afecta la oportunidad de la información difundida (Comas, 2026).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 70 - 81

La búsqueda de soluciones encaminadas a la automatización de procesos editoriales en contextos institucionales resulta necesaria como recurso para agilizar las tareas de carga y publicación que tradicionalmente se ejecutan de manera manual. De modo más amplio, la incorporación de la inteligencia artificial en la gestión organizacional de las instituciones evidencia una tendencia paulatina, aunque desigual, entre regiones y sectores (Rodríguez-Alegre *et al*., 2023).

En este orden de ideas, el proceso de publicación de la dependencia universitaria hasta el mes de abril de 2026 dependía, previo a la intervención descrita en este reporte, de la carga manual e individual de cada contenido, proceso que demandaba alrededor de diez minutos por entrada. A ello, se sumaba una interfaz de publicación obsoleta, sin un diseño institucional definido y con restricciones de visibilidad derivadas de una disposición inadecuada de los elementos de la página, en la que el bloque de vista previa se sobreponía al texto y no se incluía un botón de descarga directa. Asimismo, existían más de 100 materiales ya elaborados y en espera de difusión. Con base en experiencias previas propias en el empleo de inteligencia artificial generativa aplicada a otros procesos técnicos dentro de la dependencia, se decidió recurrir a esta herramienta como guía para construir un esquema de solución automatizada.

El objetivo de la intervención técnica, realizada entre finales de abril de 2026 e inicios de mayo de 2026, consistió en diseñar e implementar un sistema de automatización de publicaciones, sustentado en el uso iterativo de inteligencia artificial generativa, con la capacidad de incorporar todos los contenidos rezagados a la plataforma correspondiente y sostener su difusión periódica, sin comprometer los estándares de identidad y calidad institucionales.

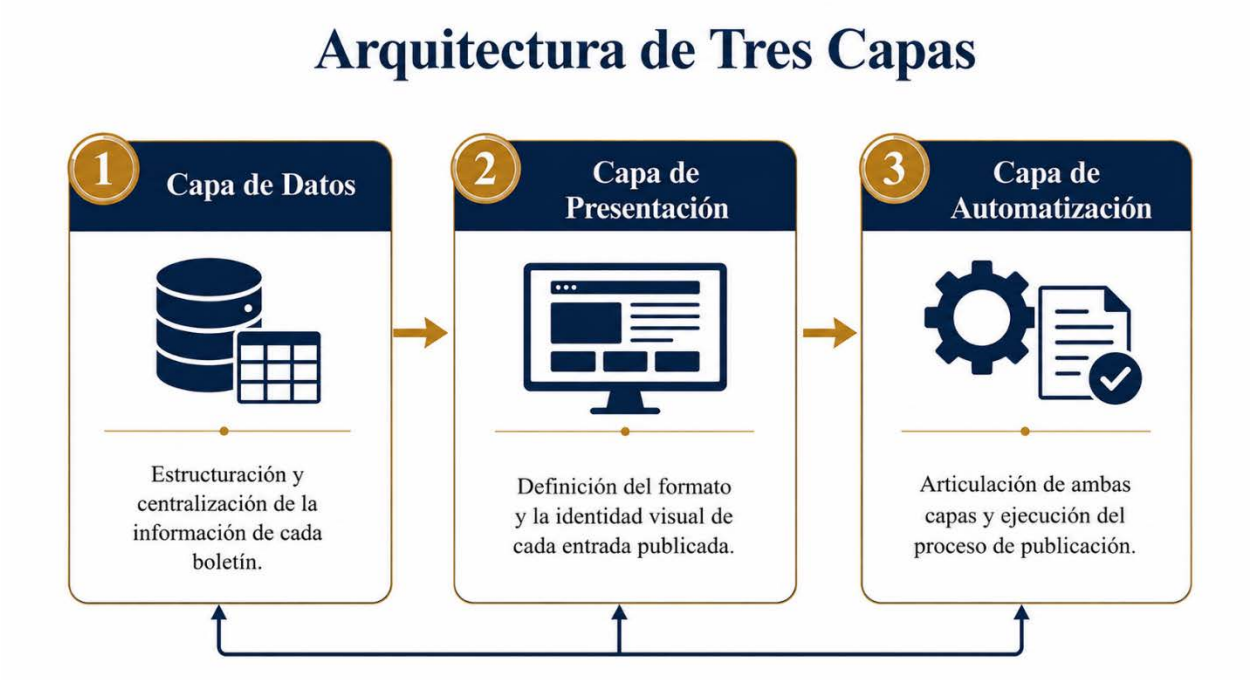
2. DESARROLLO TÉCNICO

La construcción de la solución se apoyó, desde su fase inicial, en el uso iterativo de herramientas de inteligencia artificial generativa como soporte de consulta técnica. En una primera etapa, se recurrió a ChatGPT (modelo GPT-5, versión gratuita; OpenAI, 2026), una interfaz conversacional de propósito general, con el fin de formular el problema de automatización y explorar posibles soluciones. No obstante, las respuestas obtenidas derivaron en un ciclo reiterado de prueba y error en torno a la autenticación, es decir, el procedimiento mediante el cual el sistema valida que quien solicita publicar contenidos cuenta con los permisos necesarios para hacerlo. La causa de este ciclo se identificó finalmente en la modalidad del registro del proyecto ante el proveedor del servicio: al utilizar una configuración personalizada, en lugar de la configuración estándar ofrecida por la propia herramienta de automatización, se activó un protocolo adicional de verificación por parte del proveedor, un requisito que suele estar diseñado para aplicaciones de uso masivo y que resultaba innecesario para este proyecto. Ante esta limitante, se optó por utilizar una segunda herramienta de inteligencia artificial generativa, con el objetivo de conocer las alternativas de solución que podría ofrecer. Claude (modelo Sonnet 4.6, versión de paga; Anthropic, 2026) planteó una arquitectura de tres capas como se muestra en la Figura 1: una capa de datos, orientada a estructurar y centralizar la información de cada boletín; una capa de presentación, encargada de definir el formato y la identidad visual bajo la cual se publicaría cada entrada; y una capa de automatización, responsable de articular ambas capas y ejecutar el proceso de publicación.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 71 - 81

Figura 1

Arquitectura de tres capas propuesta para la automatización de publicaciones



Nota. Representación visual elaborada con ChatGPT (modelo GPT-5; OpenAI, 2026) a partir del esquema de arquitectura propuesto por Claude durante el desarrollo del proyecto.

Esta estructura permitió orientar de manera ordenada el resto del desarrollo, cuya implementación se describe a detalle en el apartado metodológico.

2.1 METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se organizó en cinco fases secuenciales, cada una orientada a resolver un aspecto específico del proceso de automatización, congruentes con la arquitectura de tres capas descrita previamente.

Fase 1. Automatización previa: recopilación y generación del archivo de datos

La primera fase consistió en la estructuración de los datos que servirían como fuente de información para las siguientes etapas del proceso. En primera instancia, se exploró la generación de este archivo mediante funciones de concatenación y una macro que convertía los resultados de dichas fórmulas en valores estáticos, con el propósito de desvincularlos de las celdas originales. No obstante, se optó por reemplazar esta estrategia por un procedimiento completamente automatizado, por lo que las fórmulas de concatenación se descartaron definitivamente.

Para lograr el objetivo planteado, se empleó la capacidad de Claude para establecer una conexión directa hacia una carpeta alojada en una plataforma de almacenamiento en la nube, que contiene los documentos en formato de documento portátil (PDF) de cada boletín y sus imágenes de portada. Los documentos

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 72 - 81

procesados eran boletines de difusión pública, elaborados por el equipo de apoyo a la investigación a partir de fuentes públicas, por lo que no incluían datos personales de terceros ni información reservada. El modelo se utilizó mediante la aplicación de escritorio, con una cuenta autenticada de pago y con el entrenamiento desactivado; sin embargo, los archivos no se sometieron a depuración previa de metadatos. Los riesgos asociados se sistematizan en las secciones 4.1 y 4.2.

Posteriormente, mediante un *prompt* estructurado, el cual se muestra en la Figura 2, se instruyó a la herramienta para leer el contenido de cada archivo PDF, relacionar cada documento con su imagen de portada, extraer los datos definidos (título, fecha y extracto) y generar de forma automática los enlaces necesarios de cada archivo, con base en los formatos de referencia vigentes del servicio de almacenamiento utilizado para visualización de imágenes, vista previa de documentos y descarga directa. La adecuada construcción de estos enlaces resultó un elemento crítico del proceso, debido a que de ellos dependía la visualización y disponibilidad del contenido dentro de cada entrada publicada.

Figura 2

Instrucción (prompt) empleada para la extracción de metadata y generación del archivo de datos

> Extrae la metadata de todos los PDFs de la carpeta [nombre de la carpeta] de mi Google Drive y expórtala a un Excel con las siguientes columnas:
>
> - **título** — título del boletín que aparece en la página 1 de cada PDF
> - **fecha** — fecha o período que aparece en la página 1 de cada PDF
> - **url_imagen** — construye el link con el ID del archivo PNG correspondiente a cada PDF usando el formato: `https://lh3.googleusercontent.com/d/{ID_imagen}`
> - **extracto** — primer párrafo de la página 2 de cada PDF si es que en el PDF hay una portada; si no hay portada, extrae el primer párrafo de la primera página
> - **url_preview** — construye el link con el ID del PDF usando el formato: `https://drive.google.com/file/d/{ID_pdf}/preview`
> - **url_pdf** — construye el link con el ID del PDF usando el formato: `https://drive.usercontent.google.com/download?id={ID_pdf}&export=download`
>
> La carpeta contiene PDFs y sus imágenes de portada en PNG. Relaciona cada PDF con su imagen PNG correspondiente leyendo el contenido de cada archivo. Al finalizar, genera el Excel con todos los registros.

Nota. Prompt ejecutado mediante Claude (modelo Sonnet 4.6; Anthropic, 2026).

La instrucción mencionada se adoptó de forma estandarizada para el procesamiento de los lotes de boletines quincenales subsecuentes. Derivado de esta fase, se generó automáticamente un archivo que recopilaba la totalidad de los registros, los cuales fueron migrados a Google Sheets, dado que el mecanismo de automatización requería que los datos residieran en esa plataforma a fin de ser consultados y procesados por Google Apps Script.

Fase 2. Diseño de la plantilla editorial

La segunda fase se orientó al diseño de una plantilla editorial con identidad institucional, aplicable de manera consistente a cada entrada publicada. Para su elaboración, se compartió a Claude (modelo

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 73 - 81

Sonnet 4.6; Anthropic, 2026) la estructura del código HTML y CSS de la plantilla base, con el objetivo de que la herramienta conociera la estructura sobre la cual debía aplicarse el nuevo diseño. Con base en esta referencia, se indicó a la herramienta definir el estilo institucional de la nueva plantilla, estableciendo una paleta de colores, tipografía y esquema de presentación de cada boletín. Como resultado, Claude generó una primera propuesta de código, la cual se sometió a un proceso iterativo de revisión, ajustando gradualmente los componentes visuales y estructurales, hasta alcanzar el resultado deseado. La plantilla resultante incorporó una combinación tipográfica diferenciada para títulos y cuerpo de texto, un encabezado con los datos distintivos del boletín, un área de previsualización del archivo PDF y un botón de descarga directa, en consistencia con recomendaciones documentadas sobre la contribución de la consistencia gráfica al reconocimiento de una identidad visual (Andraus y Ramírez, 2024).

Fase 3. Configuración de la conexión con la plataforma de destino

La tercera fase consistió en la vinculación técnica entre la hoja de cálculo alojada en Google Sheets, el entorno de automatización de Google Apps Script y la API REST v3 de Blogger. Este proceso se llevó a cabo a través de cinco etapas de configuración guiadas de manera iterativa por Claude (modelo Sonnet 4.6; Anthropic, 2026), las cuales se muestran en la Figura 3.

En primer lugar, se habilitó la Blogger API v3 desde la consola de Google Cloud, paso indispensable para que el proyecto pudiera realizar solicitudes hacia dicha interfaz. En segundo lugar, se configuró la pantalla de consentimiento de OAuth, es decir, el mecanismo por medio del cual el sistema solicita permiso explícito a la persona usuaria para acceder a su cuenta; dicha pantalla se configuró bajo un esquema de tipo externo y se registró la cuenta del área como usuaria de prueba autorizada, dado que la aplicación se encontraba en fase de prueba y no había sido verificada por Google. En tercer lugar, se vinculó el proyecto de Google Cloud con el entorno de Apps Script, asociando el número de proyecto correspondiente en la configuración de este último, lo que permitió que ambos operaran bajo una misma identidad de autorización. En cuarto lugar, se declararon los alcances de autorización (*scopes*) dentro del archivo de configuración del proyecto (appsscript.json), es decir, los permisos específicos que permiten al sistema leer y escribir contenido mediante Blogger, acceder a la hoja de cálculo y ejecutar solicitudes externas. Finalmente, se configuró la obtención automática del token de autorización mediante la función ScriptApp.getOAuthToken(), la cual genera la credencial temporal que el sistema utiliza para autenticar cada petición sin requerir la gestión manual de contraseñas o llaves de acceso.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 74 - 81

Figura 3

Pasos de configuración de la conexión entre Google Sheets, Google Apps Script y la API REST de Blogger



Nota. Representación visual elaborada con Flow (modelo Nano Banana 2; Google, s. f.) con base en los pasos de configuración ejecutados con la guía de Claude (modelo Sonnet 4.6; Anthropic, 2026) durante el desarrollo del proyecto.

Este esquema de autenticación, basado en OAuth 2.0 y en un token de vida temporal en lugar de credenciales fijas, responde a la recomendación de utilizar mecanismos de autenticación robustos para la protección de interfaces de programación de aplicaciones (Leones *et al*., 2024).

Fase 4. Ejecución y publicación automatizada

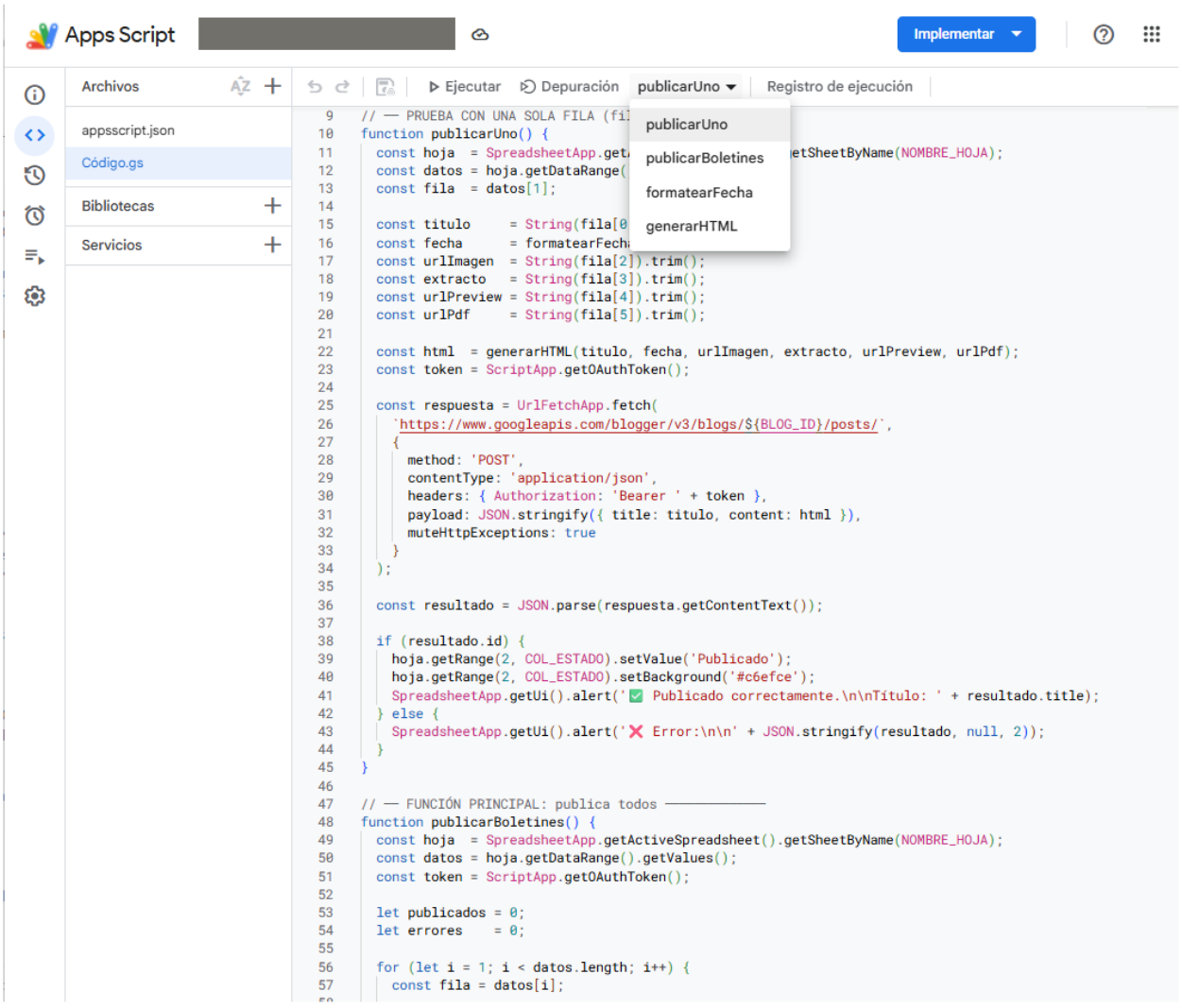
En la cuarta fase, Claude generó los archivos de código con las funciones de automatización que se pondrían en marcha para ejecutar el proceso de publicación. En primera instancia, se utilizó una función de prueba *publicarUno( ),* para publicar una única entrada de forma individual, con el propósito de validar el formato, la codificación de caracteres y la asignación correcta de los metadatos antes de proceder con el procesamiento del lote completo. Una vez confirmado el resultado de esta prueba, se ejecutó la función principal *publicarBoletines( ),* encargada de iterar sobre la totalidad de las filas de la hoja de cálculo, omitir aquellas ya marcadas como publicadas, generar el contenido HTML correspondiente mediante la función *generarHTML( )* y enviar la solicitud de publicación a la API de Blogger como se muestra en la Figura 4. Dicha solicitud se envió mediante el método POST al servicio de entradas de la API de Blogger, con un cuerpo en formato JSON que contenía el título y el contenido HTML de cada boletín, y se autenticó con el token temporal descrito en la fase anterior.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 75 - 81

La hoja de cálculo se organizó con una fila por boletín y siete columnas: título, fecha, dirección de la imagen de portada, extracto, dirección de la vista previa, dirección de descarga del documento y estado de publicación. Las seis primeras se alimentaron con el archivo generado en la Fase 1; la última fue la única que el sistema modificó, al registrar "Publicado" con relleno verde o el mensaje de error correspondiente con relleno rojo, lo que evitó duplicar entradas al reintentar la ejecución.

Figura 4

Funciones de automatización implementadas en el entorno de Apps Script



Durante la ejecución masiva, se observó que el proceso sólo publicaba grupos de cinco entradas por cada ejecución, quedando marcadas como publicadas las primeras cinco filas y sin procesar el resto del lote, comportamiento que coincidía con errores de cuota excedida. Como medida de contención, se aplicó una pausa de 5 segundos entre solicitudes consecutivas dentro de la función principal y se volvió a ejecutar el proceso después de ese breve intervalo, repitiendo este procedimiento hasta completar la totalidad de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 76 - 81

los registros pendientes. El estado de publicación de cada entrada se registró automáticamente dentro de la hoja de cálculo, lo que permitió identificar, en cada reintento, las filas restantes por procesar.

Fase 5. Diseño del tema institucional del sitio de publicación

La quinta fase consistió en la actualización de la plantilla general del sitio de publicación, con apoyo de Claude (modelo Sonnet 4.6; Anthropic, 2026), con el fin de alinear su identidad visual con la de la plantilla editorial utilizada en cada entrada. Se modificaron los estilos del encabezado, la navegación, la tipografía, la barra lateral, la paginación y el pie de página, aplicando de manera consistente la paleta de colores institucionales.

3. RESULTADOS

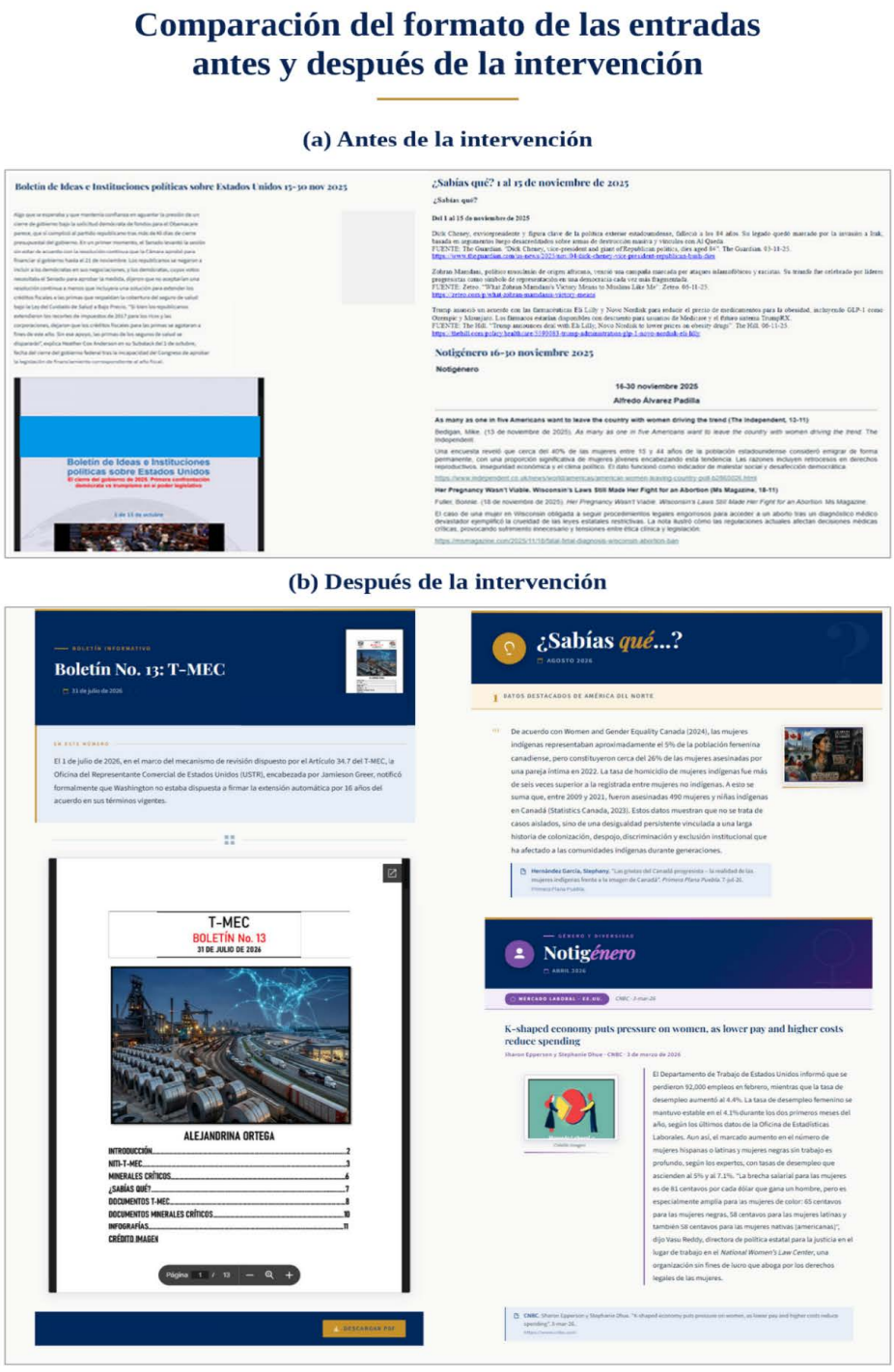
Con el sistema, se publicaron los 104 materiales que se encontraban pendientes de difusión al inicio de la intervención. Una vez validado su funcionamiento mediante la publicación de una entrada de prueba, el procesamiento completo del rezago se realizó en menos de una hora, frente a las cerca de 17 horas que habría requerido su carga manual, con un tiempo estimado de diez minutos por entrada. Durante la ejecución masiva, el sistema publicó lotes de cinco entradas y marcó con error las restantes de cada ejecución por el límite de cuota del servicio, de modo que se reintentó la ejecución, tras una espera aproximada de cinco segundos, hasta registrar la totalidad de los materiales como publicados.

Las entradas publicadas mediante el sistema incorporaron una plantilla con identidad institucional, vista previa funcional y descarga directa del documento, en sustitución de la interfaz previamente utilizada, desactualizada, sin diseño institucional definido y con restricciones de visibilidad derivadas de una disposición inadecuada de los elementos de la página como se muestra en la Figura 5. Las entradas publicadas con anterioridad a la intervención conservaron el formato previo. Su calidad se verificó mediante la revisión visual de cada publicación y se realizaron las adecuaciones que resultaron necesarias. Posteriormente, el sistema se mantuvo en uso para los boletines nuevos: hasta octubre de 2026 se habían publicado 159 boletines en total, es decir, 55 posteriores al procesamiento del rezago, lo que evidenció su capacidad para sostener la publicación de forma continua.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 77 - 81

Figura 5

Comparación del formato de las entradas del sitio de publicación antes y después de la intervención



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 78 - 81

El proceso de selección de herramientas de inteligencia artificial generativa evidenció diferencias relevantes entre éstas: mientras que una primera herramienta condujo a un ciclo reiterado de prueba y error en la configuración de la autenticación, una segunda permitió estructurar la totalidad del desarrollo mediante una arquitectura de tres capas y sostener un acompañamiento iterativo a lo largo de las cinco fases documentadas.

La guía iterativa mencionada se reflejó en el diseño de la conexión entre la hoja de cálculo, el entorno de automatización y la plataforma de destino, así como en la resolución del error de publicación por lotes de cinco entradas, el cual se resolvió mediante la incorporación de una pausa entre solicitudes consecutivas y reintentos sucesivos. Este hallazgo quedó documentado como criterio de diagnóstico reutilizable para reducir el tiempo de resolución ante incidencias similares en implementaciones futuras.

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que se alcanzó el objetivo de la intervención: se procesó el rezago de contenidos pendientes y se sostuvo su difusión periódica con una plantilla de identidad institucional, cuya calidad se verificó mediante la revisión visual de cada publicación. En el caso documentado, la ausencia de un equipo de desarrollo dedicado no impidió automatizar el proceso de publicación, que se llevó a cabo con el acompañamiento de modelos de inteligencia artificial generativa y de forma iterativa ante los errores. No obstante, la experiencia no permite afirmar que dicho acompañamiento sustituya a los equipos de desarrollo: cada componente generado fue revisado y validado por la persona responsable, y las decisiones de configuración y seguridad requirieron criterio técnico previo. En este caso, el aporte de estos modelos consistió en agilizar el trabajo del personal técnico en una dependencia con recursos limitados y no en prescindir de la experiencia profesional.

Con respecto al aprendizaje central de esta experiencia, se puede decir que la selección de la herramienta de inteligencia artificial generativa puede tener un efecto relevante en el resultado del proceso: la exploración inicial con una versión gratuita permitió validar la viabilidad del enfoque sin comprometer recursos adicionales, mientras que la posterior adopción de una herramienta de pago permitió proponer una arquitectura completa desde el inicio y sostener el desarrollo de principio a fin. Esta experiencia no permite determinar si el factor decisivo fue la herramienta específica o el nivel de acceso disponible en cada una, pero sí evidencia la conveniencia de probar más de una alternativa ante resultados poco consistentes. Gracias al apoyo del uso de modelos de inteligencia artificial generativa como recurso iterativo de consulta, se logró interpretar con mayor eficiencia la documentación técnica de la interfaz de programación de aplicaciones utilizada, diagnosticar errores de autenticación y depurar fallas relacionadas con las cuotas de ejecución del entorno de automatización empleado, sin que ello implicara que dichos modelos redactaran o determinaran por sí mismos el contenido editorial publicado; su función se limitó a la de un recurso de apoyo técnico dentro de un proceso supervisado y validado por la persona responsable del proyecto. Asimismo, el uso de modelos de terceros exige identificar anticipadamente qué información se les entrega.

Entre las competencias técnicas consolidadas durante el proceso, se encuentran el manejo de protocolos de autenticación en entornos de administración en la nube, la administración de cuotas y límites de ejecución propios del entorno de automatización utilizado y la integración de servicios mediante interfaces de programación de aplicaciones sin recurrir a *frameworks* nativos de desarrollo. Estos conocimientos se construyeron durante el desarrollo del proyecto mediante la práctica directa y el acompañamiento de la

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 79 - 81

inteligencia artificial generativa, lo cual sugiere que este tipo de herramientas puede reducir la brecha de conocimiento técnico especializado que enfrentan las dependencias universitarias con recursos limitados. Lo anterior es consistente con estudios que documentan la función de la inteligencia artificial generativa como asistente estratégico en la formación de nuevos conocimientos y habilidades (Cortés *et al*., 2024). El procedimiento documentado ofrece un referente del uso de herramientas de inteligencia artificial generativa y de servicios en la nube de uso extendido para atender necesidades editoriales con recursos limitados en dependencias universitarias.

4.1 LIMITACIONES

La solución presentó cinco limitaciones que deben considerarse al evaluar su adopción en otras dependencias.

La primera se relaciona con las cuotas de ejecución. Durante el procesamiento del rezago, el sistema publicó únicamente lotes de cinco entradas por ejecución, a pesar de una pausa programada de cinco segundos entre solicitudes. Fue necesario reintentar la ejecución de forma manual, esperando aproximadamente otros cinco segundos antes de cada intento. Por ello, la publicación de un volumen amplio de materiales requirió varias ejecuciones y supervisión manual; de esta manera, el esquema queda sujeto a los límites de uso que establece el proveedor.

La segunda es la incertidumbre sobre el factor determinante en la selección del modelo. El desarrollo inició con un modelo de acceso gratuito y continuó con otro de acceso mediante pago. Como no se probó el primero en su versión de pago ni se repitió el procedimiento en ambos modelos bajo condiciones equivalentes, no es posible establecer si la diferencia en los resultados se debió al modelo, al nivel de acceso o a ambos. Por ello, la experiencia no constituye una comparación entre herramientas.

La tercera es la dependencia de servicios de terceros. El sistema opera sobre servicios de Google (hoja de cálculo, entorno de automatización, consola de administración en la nube, almacenamiento y plataforma de blogs) y sobre el servicio de un proveedor de inteligencia artificial generativa. Cambios en sus condiciones, cuotas, mecanismos de autenticación o disponibilidad pueden afectar el funcionamiento sin intervención de la dependencia; el uso del modelo implicó el costo de una suscripción.

La cuarta es la exposición de información. Los archivos PDF se entregaron al modelo sin depuración previa de metadatos técnicos. Aunque el contenido editorial era de difusión pública, el procedimiento no puede trasladarse sin medidas adicionales a documentos de naturaleza sensible, las cuales se describen en las recomendaciones.

La quinta es el alcance de la intervención. La plantilla se aplicó únicamente a las entradas nuevas; las anteriores a la intervención conservaron el formato previo, por lo que el sitio mantiene dos formatos de manera simultánea.

4.2 RECOMENDACIONES

Con base en la experiencia obtenida, se recomienda documentar de forma sistemática los errores de autenticación y de cuota conforme se presenten, dado que este registro reduce el tiempo de resolución ante incidencias posteriores. Es pertinente validar cada componente generado con apoyo de inteligencia artificial mediante pruebas puntuales antes de su ejecución masiva, además de construir la automatización por etapas, sustituyendo progresivamente los procesos manuales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 80 - 81

En materia de seguridad de la información, conviene tener presente que los modelos generativos pueden aprender de la información, los documentos y los *prompts* que reciben, por lo que debe cuidarse qué contenido se entrega y cómo se redactan las instrucciones, evitando incluir datos sensibles. Para reducir este riesgo, se sugieren dos medidas. La primera consiste en desactivar el módulo de entrenamiento del modelo: la mayoría de éstos ofrece dicha opción, aunque su ubicación varía de uno a otro y suele requerir haber iniciado sesión con una cuenta. Esta desactivación se realiza en la configuración de la cuenta, en el apartado de privacidad, y no mediante una instrucción en el *prompt*. La segunda medida consiste en instalar un modelo de manera local, cuyo uso se restrinja a un grupo reducido de personas con acceso a esa instancia. Para ello, pueden emplearse aplicaciones como LM Studio (s. f.) u Ollama (s. f.), y seleccionar en ellas un modelo como DeepSeek (s. f.), Llama (Meta, s. f.), Gemma (Google, s. f.) o Qwen (Alibaba Cloud, s. f.). La instalación local implica consideraciones técnicas, ya que la obtención de respuestas suele ser lenta según los recursos de cómputo disponibles, como la memoria o el procesador.

Asimismo, cuando el contenido sea de naturaleza sensible, se recomienda generar código que extraiga la metadata sin entregar los archivos al modelo, depurar los metadatos técnicos antes de entregar cualquier archivo y formar al personal en la identificación de información sensible antes de utilizar estas herramientas.

REFERENCIAS

Alibaba Cloud. (s. f.). *Qwen* [modelo de lenguaje de gran escala]. https://qwen.ai

Andraus Quintero, C. E. y Ramírez Véliz, E. T. (2024). Análisis de la identidad visual corporativa de los medios periodísticos digitales de Manabí. *Revista San Gregorio*, *1*(58), 63-69. https://doi.org/10.36097/rsan.v1i58.2539

Anthropic. (2026). *Claude* (modelo Sonnet 4.6) [modelo de lenguaje de gran escala]. https://claude.ai

Comas Rodríguez, R. (2026). Publicación continua y responsabilidad editorial en la comunicación científica. *Revista Uniandes Episteme*, *13*(3), e1303001. https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/4758/5168

Cortés Hernández, A., Hernández Hernández, C. A., García Torres, A. B. y Mata Quezadas, M. (2024). La inteligencia artificial generativa como un asistente estratégico en la era del aprendizaje digital. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8*(4), 2159-2178. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12456

DeepSeek. (s. f.). *DeepSeek* [modelo de lenguaje de gran escala]. https://www.deepseek.com

Google. (s. f.). *Google Flow* [herramienta de inteligencia artificial generativa]. Recuperado el 24 de agosto de 2026, de https://labs.google/flow

Leones Zambrano, W. P., Macias Bazurto, L. M., Pilla Zuniga, W. I. y Fernández Sánchez, E. G. (2024). Diseño estratégico de APIs escalables y seguras para la integración de sistemas y aplicaciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8*(5), 13395-13408. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14794

LM Studio. (s. f.). *LM Studio* [software]. https://lmstudio.ai

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.201 **Vol. 4, Núm. 4.** octubre-diciembre 2026, págs. 81 - 81

Meta. (s. f.). *Getting the models. Meta Developer Documentation*. https://dev.meta.ai/llama/docs/getting-the-models/meta

Ollama. (s. f.). *Ollama* [software]. https://ollama.com

OpenAI. (2026). *ChatGPT* (modelo GPT-5) [modelo de lenguaje de gran escala]. https://chatgpt.com

Rodríguez-Alegre, L. R., Calderón-De-Los-Ríos, H., Hurtado-Zamora, M. M. y Ocaña-Rodríguez, Á. W. (2023). Inteligencia artificial en la gestión organizacional: Impacto y realidad latinoamericana. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 8*(1), 226-241. https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2782

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 82 - 108

Marco tecnológico para un repositorio de recursos digitales en la UNAM: arquitectura, clasificación y diseño de la interfaz gráfica

Technological framework for a digital resource repository at UNAM: architecture, classification, and graphical interface design

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Arredondo Guzmán, M. A., Erazo Castrejón, K., Reséndiz Goche, L. A. e Islas Flores, M. A. (2026). Marco tecnológico para un repositorio de recursos digitales en la UNAM: arquitectura, clasificación y diseño de la interfaz gráfica. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (82 - 108). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202

Mario Alberto Arredondo Guzmán
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
malag@unam.mx
ORCID: 0009-0000-6337-4956

Karla Erazo Castrejón
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
karlaec@unam.mx
ORCID: 0009-0003-4268-6434

Luis Ángel Reséndiz Goche
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
luis.argx@unam.edu
ORCID: 0009-0007-9601-0711

Miguel Ángel Islas Flores
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
miguelst@unam.mx
ORCID: 0009-0000-2010-8711

Resumen

En los últimos años, la integración del material digital en el ámbito universitario ha fortalecido las habilidades

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 83 - 108

tecnológicas de la comunidad; sin embargo, aún es necesario trabajar en la difusión de información sobre el funcionamiento, los alcances, las ventajas y las desventajas de estas herramientas. En este contexto, se desarrollan repositorios digitales con el objetivo de concentrar y divulgar recursos digitales generados por la Universidad Nacional Autónoma de México acerca de temas orientados al procesamiento de lenguaje natural, la visión artificial, el análisis de información y la automatización, entre otros.

Para la implementación que se presenta en este reporte técnico, el sistema integró el gestor de contenidos WordPress, el motor de búsqueda Apache Solr y el gestor de repositorios DSpace. Además, se emplearon las bases tecnológicas en PHP y MariaDB para garantizar una consulta eficiente y estable. Todo lo anterior se complementó con una interfaz visual atractiva, apegada a los lineamientos institucionales y optimizada para ofrecer una navegación intuitiva y accesible.

La implementación de este repositorio contribuyó a incrementar la visibilidad y favorecer la preservación de los recursos digitales de la Universidad Nacional Autónoma de México, con el fin de que la comunidad universitaria y público general pudiera consultarlo de una manera ordenada y accesible, mediante el uso de un buscador avanzado.

Palabras clave: Buscador de recursos digitales, catalogación estándar Dublin Core, experiencia de usuario, interfaz gráfica de usuario.

Abstract

In recent years, the integration of digital material within the university environment has strengthened the technological skills of the community; however, there is still a need to disseminate information regarding the functionality, scope, advantages, and disadvantages of these tools. In this context, digital repositories are being developed with the goal of centralizing and disseminating digital resources created by the Universidad Nacional Autónoma de México *on topics such as natural language processing, computer vision, data analysis, and automation, among others.*

For the implementation presented in this technical report, the system integrated the WordPress content management system, the Apache Solr search engine, and the DSpace repository management platform. Furthermore, PHP and MariaDB were used as the technological foundation to ensure efficient and stable querying. This was complemented by an attractive visual interface that adheres to institutional guidelines and is optimized to provide intuitive and accessible navigation.

The implementation of this repository has helped to increase the visibility and support the preservation of Universidad Nacional Autónoma de México *digital resources, allowing the university community and the general public to access them in an organized and accessible manner through an advanced search tool.*

Keywords: *Digital resource search engine, Dublin Core standard cataloging, user experience, graphical user interface.*

1. INTRODUCCIÓN

Los repositorios digitales institucionales integran informática, tecnología web interoperable y metadatos con el objetivo de responder a la necesidad de gestión, preservación y difusión del conocimiento en

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 84 - 108

instituciones universitarias (Bordero *et al*., 2019). Por ello, además de compartir materiales digitales de manera estandarizada, estas plataformas tecnológicas deben estar estructuradas, ser de fácil acceso, flexibles y cumplir con los estándares internacionales de interoperabilidad. En este sentido, Picón (2024) señala: "Los repositorios surgen como una iniciativa para mejorar el acceso al conocimiento, constituyendo una alternativa digital para la comunicación académica".

En el año 2025, surgió la necesidad de fortalecer las habilidades digitales de la comunidad y crear un repositorio universitario que integrara contenidos digitales vinculados a áreas de procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, análisis de información y automatización de procesos. Autores como Castañeda de León *et al*. (2025, pp. 29-30) han señalado la necesidad de implementar programas de alfabetización digital y garantizar el acceso equitativo a recursos tecnológicos.

Es por ello que se integró un repositorio digital con herramientas de código abierto, entre ellas WordPress, el motor de búsqueda Apache Solr y el administrador de repositorios DSpace. Asimismo, se diseñó una arquitectura de información basada en taxonomías especializadas y una estructura tecnológica centrada en contenedores, PHP y MariaDB. El desarrollo contó con la orientación de la Dirección General de Repositorios Universitarios (DGRU) en la estructura del repositorio y en la catalogación basada en estándares internacionales, para el desarrollo de un sistema de consulta de recursos digitales, eficiente y accesible.

El objetivo del proyecto fue reunir, organizar y dar acceso a recursos digitales generados por la universidad en las áreas de procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, análisis de información y automatización de procesos, dirigidos a la comunidad universitaria y al público en general, por medio de una interfaz de consulta conectada al repositorio.

2. DESARROLLO TÉCNICO

Las plataformas digitales creadas para resguardar y difundir información se distinguen por su adaptabilidad, interconexión y manejo de estándares internacionales, características que facilitan el acceso de los contenidos a los usuarios.

Se evaluó la utilización de la herramienta WordPress como gestor de contenido debido a su simplicidad y rapidez para modificar la apariencia del sitio, administrar páginas y usuarios, así como por la posibilidad de incorporar extensiones o complementos para añadir funcionalidades muy específicas (Dumoulin, 2021).

Por otro lado, se utilizó DSpace como administrador de repositorios ya que, de acuerdo con Castorina (2023), es el líder en *software* como sistema de gestión de repositorios de acceso abierto debido a sus capacidades de administración, navegación, preservación, rotulado, soporte e indexación.

Para el motor de búsqueda, se utilizó Apache Solr y se desarrolló un metabuscador. Un ejemplo de la efectividad de esta tecnología es el utilizado para la agrupación de recursos digitales en la Universidad Autónoma de Nuevo León, donde Salas (2021) describió la relevancia de realizar de manera ágil la indexación de registros, así como aminorar el uso de memoria RAM. Con la implementación de Apache Solr, *software open source* hecho en Java, se realizan búsquedas de texto por título, tema, palabras clave y autor; además, tiene la opción de presentar un listado con los resultados de acuerdo a la importancia, así como una navegación por facetas, es decir, en donde el usuario puede aplicar más de una opción.

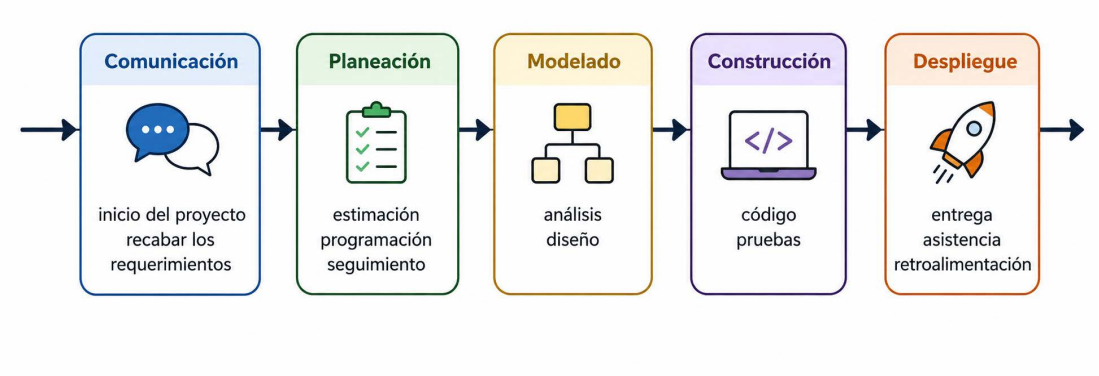
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 85 - 108

2.1 METODOLOGÍA

Con base en las especificaciones solicitadas y en la experiencia técnica de las áreas de diseño, desarrollo web y producción digital, se llevó a cabo una adaptación del modelo en V. Ésta es una variante del modelo en cascada, también llamado ciclo de vida clásico del desarrollo de *software*. El modelo en cascada organiza el trabajo en cuatro fases secuenciales: planeación, modelado, construcción y despliegue, como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1

Descripción gráfica del modelo en cascada



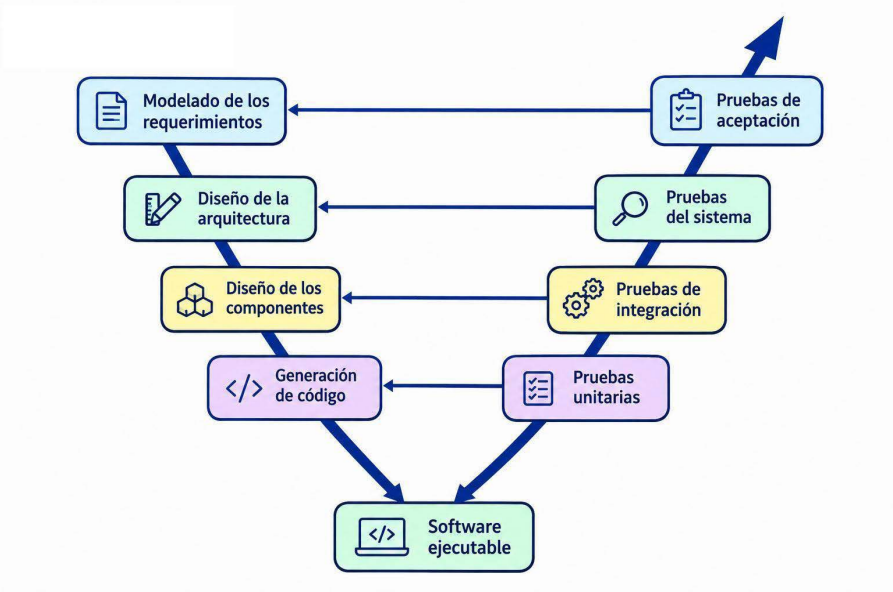
Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

El modelo en V conserva esa secuencia, pero asocia a cada fase de desarrollo una acción de verificación o validación, como se puede observar en la Figura 2. De esta forma, la calidad de cada producto se comprueba contra lo que se definió en la fase que le dio origen.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 86 - 108

Figura 2

Descripción gráfica del modelo en V



Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

Se eligió esta variante porque el modelo de cascada estricto supone que una fase cerrada no se vuelve a abrir. En la práctica, las pruebas del proyecto detectaron ajustes que obligaban a revisar trabajo de fases anteriores. El modelo en V permitió hacerlo de forma ordenada, gracias a la correspondencia entre sus niveles:

- Las pruebas de componentes se contrastaron con el diseño detallado, como los filtros de búsqueda o la sincronización con DSpace.
- Las pruebas de integración se contrastaron con la arquitectura del sistema, como la comunicación entre WordPress, DSpace y Apache Solr.
- La validación final se contrastó con los requerimientos, así como la revisión en las áreas de pruebas de usabilidad y/o pruebas con usuario final.

Cuando una prueba arrojaba un resultado distinto al esperado, el ajuste se aplicaba en la fase correspondiente. Después, se repetía la verificación antes de continuar. De esta manera, los cambios se incorporaron sin perder el orden secuencial del modelo y quedó claro en qué punto del proceso se origina cada corrección.

Cabe aclarar que no hay diferencias fundamentales entre ambos modelos, la única distinción del modelo en V es que proporciona una forma de ver las acciones de verificación y validación, como mencionan Pressman y Maxim (2021).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 87 - 108

2.1.1 DEFINICIÓN DE LOS REQUISITOS

2.1.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y PÚBLICO OBJETIVO

Se identificó la necesidad de concentrar y organizar los recursos digitales producidos por la Universidad en las áreas de procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, análisis de información y automatización de procesos, con el fin de facilitar su consulta a través de un repositorio con dominio unam.mx. Por ello, la infraestructura y la arquitectura del sistema se diseñaron para ofrecer un acceso sencillo y directo a los materiales, con consultas personalizadas, uso de filtros y fichas con la información de cada recurso. Asimismo, se desarrolló una identidad visual y una navegación tanto intuitiva como funcional para un público diverso, conformado por la comunidad universitaria (estudiantes, académicos e investigadores) y el público en general.

2.1.3 RECURSOS DIGITALES

Los recursos digitales se basaron en publicaciones académicas científicas, material gráfico, sonoro y audiovisual, resultado del material producido durante los últimos ocho años por algunas facultades, institutos, programas, centros, coordinaciones y direcciones de la universidad.

Se contó con un aproximado de 800 materiales en línea, entre artículos académicos, conferencias, seminarios, libros o capítulos de libro, notas informativas, videos, ponencias, materiales audiovisuales y proyectos de investigación.

2.1.4 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN

En este proceso, se identificaron las necesidades funcionales del repositorio, se sistematizó la organización de los contenidos para asegurar una correcta recuperación en el repositorio y se realizó el mapa de navegación. Éste último definió las secciones principales de la interfaz, contemplando el funcionamiento del buscador, los filtros por categoría, subcategorías, tipo de recurso y procedencia, así como las páginas y vistas principales para la interacción del usuario.

2.2 DISEÑO DE SOFTWARE

2.2.1 HARDWARE Y SOFTWARE

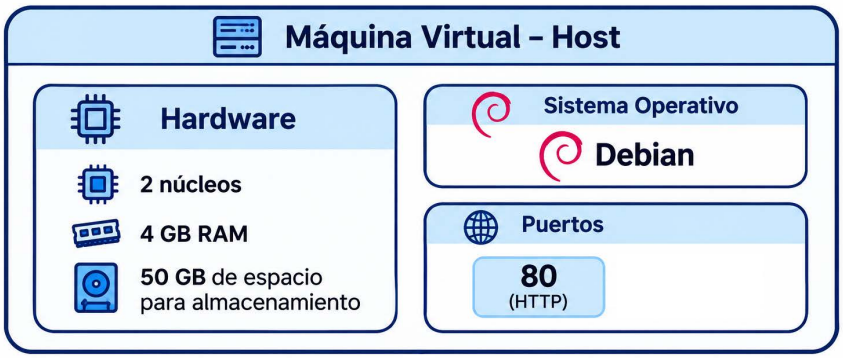
Hardware

La máquina virtual del repositorio consistió en 2 núcleos de procesamiento (vCPU), 4 GB de memoria RAM y 50 GB de almacenamiento persistente, sobre el cual se instaló un sistema operativo Debian 12, como se muestra en la Figura 3. Con esta configuración de recursos, el *host* funcionó como punto de entrada de la infraestructura.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 88 - 108

Figura 3

Arquitectura de hardware de la máquina host



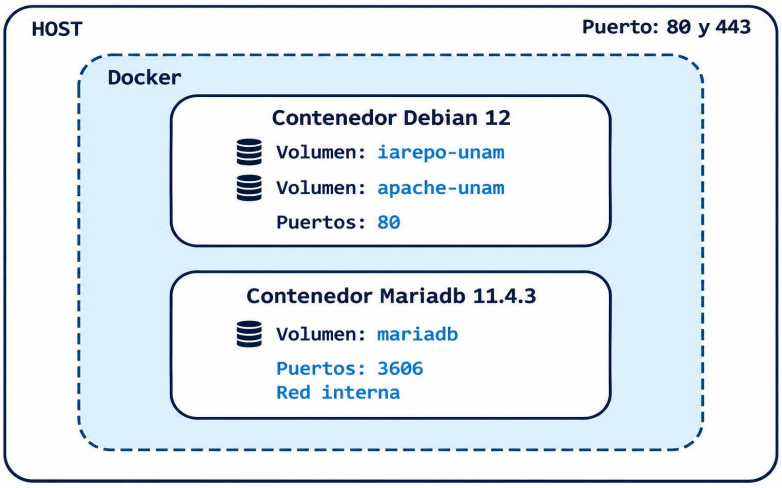
Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

Software

La arquitectura que se implementó fue la mostrada en la Figura 4, en donde se puede observar la configuración del ambiente de contenedores Docker utilizados para el sistema de consulta de recursos digitales. En la máquina *host*, se desplegaron dos contenedores: Debian 12 y MariaDB 11, respectivamente. Ambos son los encargados de la publicación de los recursos del repositorio mediante el uso del gestor de contenidos WordPress, manteniendo la persistencia de los datos a través de los volúmenes iarepo-unam y mariadb.

Figura 4

Arquitectura para el despliegue de contenedores Docker



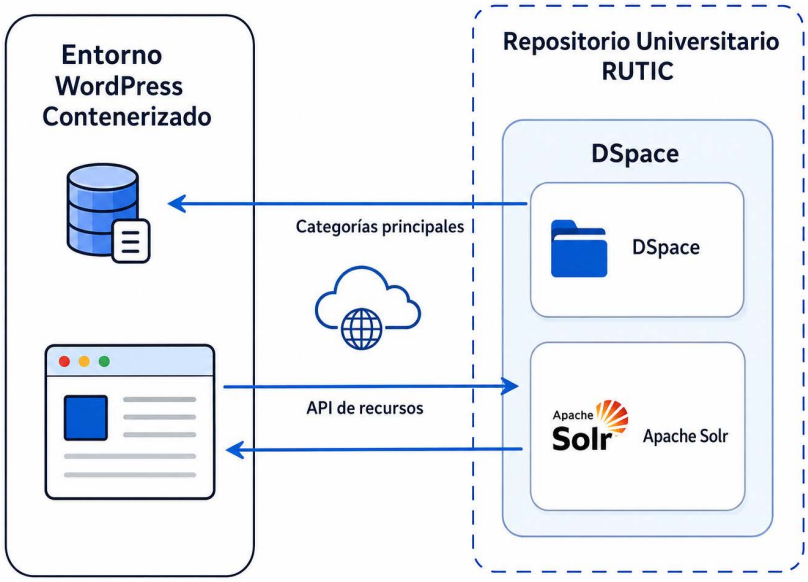
Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 89 - 108

La versatilidad de WordPress resultó ser un elemento clave para funcionar como *frontend* (Amazon Web Services, s. f.), consumiendo datos vía la API REST y aprovechando Solr para búsquedas avanzadas. De este modo, se logró la separación de la solidez establecida por DSpace en el *backend* y la posibilidad que ofrece WordPress para publicar una interfaz ágil y altamente personalizable, con mucha más flexibilidad que la interfaz nativa de DSpace. Además, al funcionar como un consumidor de datos sin duplicar la información, esta arquitectura, como se puede ver en la Figura 5, centraliza la gestión en el repositorio y ofrece una interfaz de búsqueda que mejora significativamente la experiencia de usuario y ayuda en la publicación y la visibilidad de los recursos digitales.

Figura 5

Diagrama de bloques de comunicación entre Wordpress, DSpace y Apache Solr



Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

Se aprovecharon las características de publicación de contenido propias de WordPress y se desarrollaron *plugins* que complementaron los requerimientos y especificaciones no contempladas en el núcleo del CMS.

2.2.2 ESTRUCTURA DEL REPOSITORIO CON DSPACE

El repositorio se organizó en DSpace por medio de la subcomunidad “Inteligencia Artificial”, con las siguientes colecciones: Análisis y automatización, Aplicaciones especializadas, IA generativa, Procesamiento de Lenguaje Natural y Visión artificial.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 90 - 108

La herramienta DSpace permitió incluir diversos materiales como documentos de texto, imágenes, multimedia, además de otros contenidos. Los recursos fueron estructurados de acuerdo a ítems o elementos que forman parte de una colección. Cada colección que se generó corresponde a una comunidad.

Los tipos de recursos que se pueden encontrar son los siguientes: material audiovisual y sonoro, gráfico, publicaciones académicas y científicas, recursos educativos digitales, así como interactivos y multimedia. Con toda esta estructura, se conformó un sistema de repositorio digital capaz de ingresar, depositar, ordenar, conservar y distribuir los materiales, con el fin de preservar y compartir el resultado del trabajo intelectual producido por las instituciones que lo generan (Sánchez *et al*., 2022).

Es necesario contemplar que DSpace presenta un nivel de complejidad considerable al momento de aplicar actualizaciones de versionado. Dado que este *software* suele personalizarse a nivel de código fuente (modificando plantillas Java/XMLUI/Angular, hojas de estilo CSS [*Cascading Style Sheets*] o esquemas de metadatos), actualizar la plataforma implica un proceso que podría resultar complicado en la migración de la base de datos, resolución de conflictos en el código personalizado y compilación manual de algunos otros componentes. Dichos procesos requieren, necesariamente, la realización de pruebas exhaustivas en entornos de desarrollo antes de llevar las actualizaciones a producción, ya que un salto de versión mal planificado puede provocar la pérdida de personalizaciones avanzadas, incompatibilidades en el modelo de datos o la interrupción en el acceso a las colecciones del repositorio.

2.2.3 PROCEDIMIENTO DE CATALOGACIÓN: IMPLEMENTACIÓN DE ESQUEMAS DE METADATOS (DUBLIN CORE)

A partir de los materiales recibidos, se revisó la disponibilidad en línea y se evaluó la forma que más facilitara identificar y disponer la información correspondiente de cada recurso con base en algunos elementos del estándar Dublin Core.

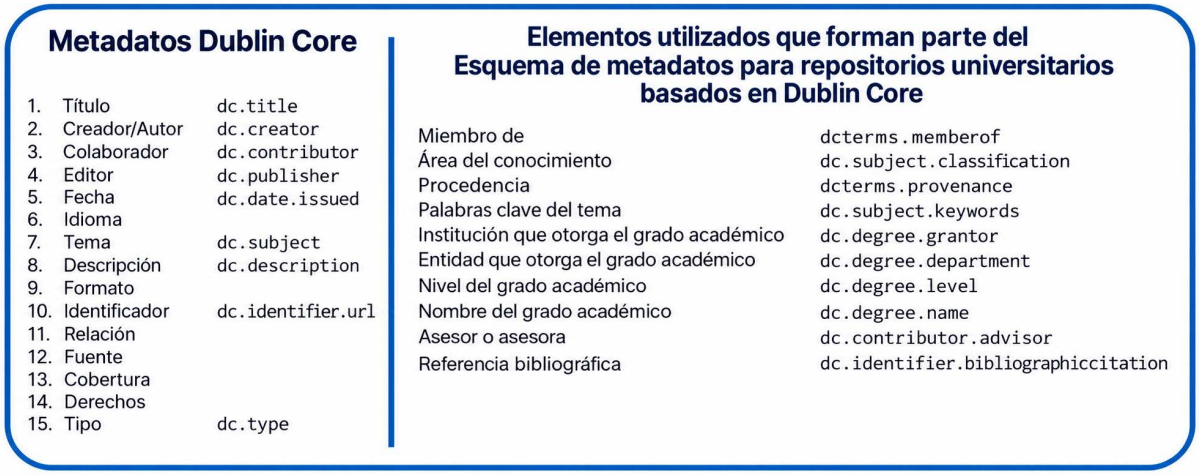
La estructura de Dublin Core de quince componentes permite el orden de los recursos digitales en los repositorios, además de que goza de la flexibilidad para incorporar más metadatos con el fin de tener un esquema más detallado de ellos. La organización, estructura e interoperabilidad de estos elementos facilitan que los contenidos puedan obtenerse de manera más ágil en Internet (Comisión de Esquema de Metadatos y Catálogos Institucionales del Comité Técnico del Repositorio Institucional de la UNAM, 2025).

Por esta razón, se eligieron nueve de quince elementos de Dublin Core y se utilizaron diez más del Esquema de metadatos para repositorios universitarios basado en el mismo estándar, con el fin de obtener la información en búsquedas personalizadas y facilitar la consulta de los recursos. Los metadatos utilizados se muestran en la Figura 6.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 91 - 108

Figura 6

Presentación de los metadatos utilizados



Nota. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial GPT-5.6 Luna, en configuración Instant, para mejorar la resolución y presentación de la figura.

Con lo anterior, se aseguró que todos los recursos estuvieran correctamente etiquetados y organizados para su consulta y despliegue en el repositorio.

2.3 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS UNITARIAS

2.3.1 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA Y EXPERIENCIA DE USUARIO

Una vez establecidos los requerimientos, se inició la etapa de la especificación de la interacción y la interfaz de usuario (UI). En este proceso, se elaboraron *wireframes* como esquemas base para definir la jerarquía de la información y los flujos de movimiento dentro del sitio. Estos modelos permitieron organizar la estructura de navegación y validar la ubicación de los componentes esenciales, como el buscador y el sistema de filtrado, antes de proceder a la creación de elementos visuales definitivos.

El diseño de la interfaz gráfica y la experiencia de usuario en el repositorio se articuló principalmente en soluciones funcionales y visuales. En esta fase, se llevó a cabo una comprensión de la arquitectura de la información, que posteriormente se aterrizó y organizó mediante *wireframes*, los cuales dieron paso a los *mockups* de alta fidelidad con el diseño de la interfaz de usuario final. Estos prototipos permitieron evaluar distintas propuestas en términos de identidad gráfica, usabilidad y accesibilidad. En este sentido, Jesse James Garrett (2011) estableció en su modelo de "Los 5 elementos de la experiencia de usuario" que la 'capa de superficie' es donde se materializan las decisiones de las capas inferiores, transformando la estructura en una interfaz adaptativa y funcional. Asimismo, la fidelidad visual en el prototipado fue crucial para validar una correcta navegación antes de pasar al desarrollo técnico.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 **Vol. 4, Núm. 4.** octubre-diciembre 2026, págs. 92 - 108

Arquitectura de navegación y sistema de búsqueda por filtros avanzados

Una vez que se definió la organización de los temas y el mapa de navegación, con el objetivo de que la presentación y el acceso a los materiales fuera sencillo y directo, se estableció la página principal como el pilar fundamental de todo el sitio. En este espacio, se integró desde el inicio el sistema de recuperación de la información, compuesto por el buscador, filtros de búsqueda avanzada y las fichas de resultados. A partir del análisis de los objetivos del proyecto, se determinó que la atención debía centrarse en que el usuario pudiera localizar los materiales en muy poco tiempo; por ello, se dispusieron los elementos principales de tal manera que, al ingresar al sitio, se pudieran realizar búsquedas efectivas con pocos clics.

Para asegurar que esta estructura fuera eficiente, se aplicaron criterios de disposición de elementos que facilitaron la lectura y la navegación ágil. Al respecto, Tidwell *et al.* (2020) señalan que una organización clara es vital para mantener la coherencia visual y ayudar a encontrar al usuario lo que busca sin confusiones. Siguiendo esta lógica, cada ficha de resultado presentada en la página principal se vinculó con una página interna donde se mostraron los detalles del recurso. Este diseño permitió cumplir con el requerimiento institucional de difundir el conocimiento de manera rápida y accesible para toda la comunidad (Castañeda de León *et al*., 2025).

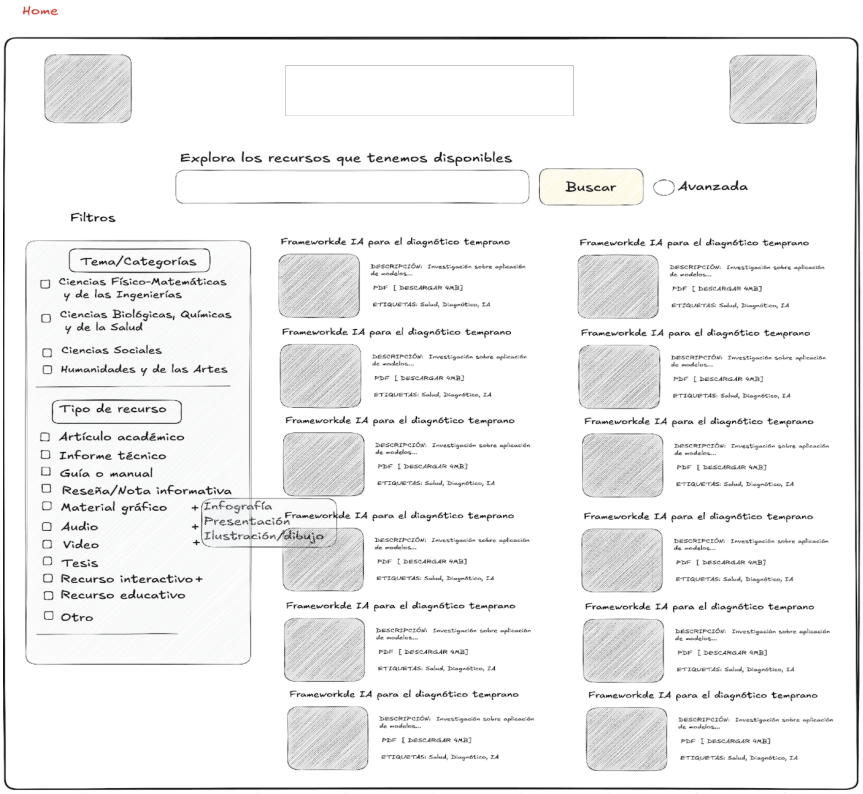
Estructura y jerarquía de la página principal

Se estableció la página de inicio como la ventana principal del repositorio, con una disposición de elementos que permitió al usuario interactuar con el sistema de búsqueda desde el primer contacto. El diseño se organizó de la siguiente manera: un encabezado, seguido del buscador como elemento primordial; debajo de éste, se ubicó una barra lateral a la izquierda con los filtros avanzados y una zona central a la derecha para las fichas de los resultados de los recursos, como se observa en la Figura 7.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 93 - 108

Figura 7

Wireframe mostrando la organización de la página principal previo al mockup de alta fidelidad



Con esta estructura, se decidió que la navegación e interacción fueran dinámicas, permitiendo que la selección de criterios en los filtros avanzados actualizara inmediatamente la presentación de los resultados dentro de la misma página principal. Este sistema de respuesta mejoró la experiencia de usuario (UX), ya que permitió que los resultados aparecieran de forma instantánea, sin necesidad de saltar a otra ventana ni realizar la recarga completa del sitio, lo que evitó tiempos de respuesta largos. Asimismo, se determinó que, cuando el usuario no realizara ninguna interacción, el sistema solamente mostrara en automático las fichas de los recursos catalogados de manera reciente. Esta organización jerárquica aseguró que se pudieran localizar los materiales en muy poco tiempo y con poco esfuerzo.

Diseño de las fichas de resultados y filtros avanzados

En esta etapa, se decidió cómo sería la interacción del usuario con el buscador y los filtros, lo que, a su vez, definió la forma y el tamaño de las fichas de los recursos en el espacio de la página del repositorio. Se eligió una retícula en dos secciones: a la izquierda, los filtros (barra lateral); y, a la derecha, las fichas de los resultados o recursos recientes. Éstas últimas fueron mostradas en cuadrículas con un estilo de tarjetas, con el fin de separar la información de una manera clara y optimizar la lectura de los datos básicos (Tidwell *et al.*, 2020).

Un factor determinante en la elección de este formato fue garantizar un diseño responsivo. Se buscó que la organización de los resultados fuera óptima en dispositivos móviles, permitiendo que las fichas

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 94 - 108

se adaptaran de manera automática, una debajo de la otra. Esta disposición aseguró que el usuario no perdiera visibilidad ni claridad en pantallas pequeñas (Frain, 2020, pp. 12-16). Por consiguiente, se fueron construyendo *wireframes* de la misma vista, tanto para la versión de escritorio como para resoluciones pequeñas.

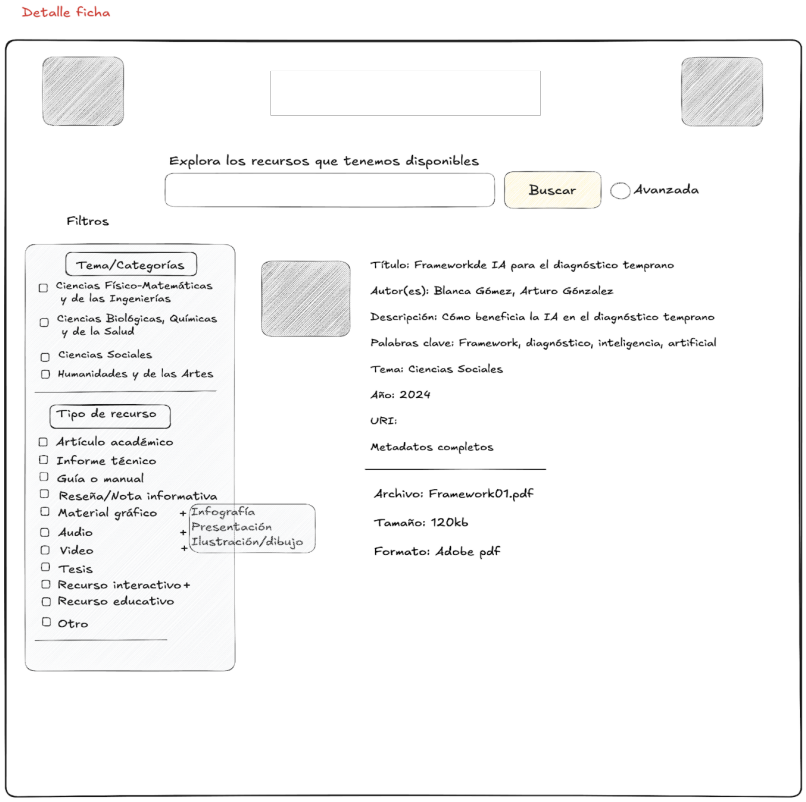
Asimismo, para garantizar un flujo de información claro hacia la información detallada, se integró dentro de cada ficha un botón con la etiqueta "Ver detalle", el cual actuó como el enlace directo hacia la página interna del recurso.

Organización de la página de detalle del recurso

Se diseñó una estructura específica para la página de la ficha completa, donde se organizaron todos los metadatos para ofrecer una visión detallada del material, como se observa en la Figura 8.

Figura 8

Wireframe mostrando la organización de la página interna de los recursos, previo al mockup de alta fidelidad



Para facilitar la lectura de los detalles técnicos de cada material, se diseñó una disposición jerárquica en dos columnas. Fundamentada en el flujo natural de izquierda a derecha, se asignó la columna de la izquierda para disponer la información principal, que incluyó la descripción detallada, autoría, palabras clave, el botón de acceso al origen del recurso y las opciones para compartir en redes sociales; por otro

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 **Vol. 4, Núm. 4.** octubre-diciembre 2026, págs. 95 - 108

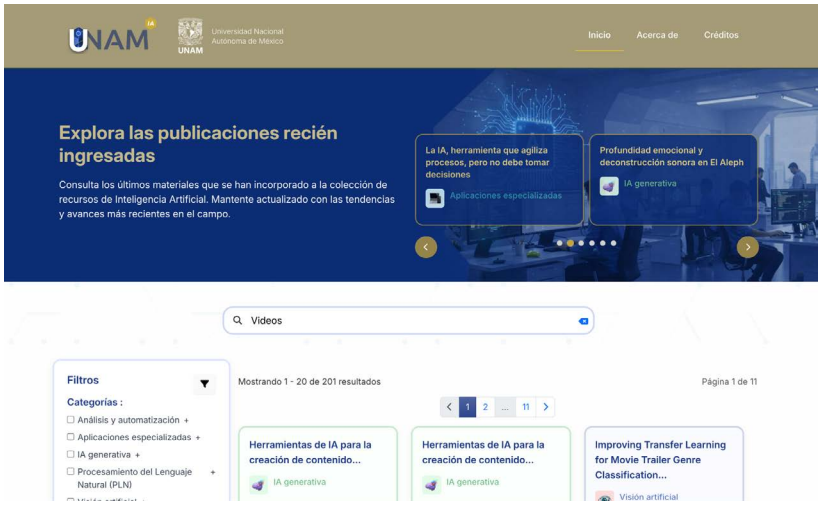
lado, el área derecha se destinó a la información complementaria tales como la categoría, subcategoría, tipo de recurso, fecha de creación y la entidad universitaria de procedencia.

2.3.2 IDENTIDAD VISUAL

Tras validar los *wireframes*, el desarrollo avanzó a la fase del diseño visual, donde los esquemas estructurales se transformaron en *mockups* de alta fidelidad, como se puede observar en la Figura 9.

Figura 9

Wireframe de alta fidelidad de la página principal



Esta etapa permitió definir la apariencia del repositorio para asegurar que los componentes gráficos no sólo fueran estéticos, sino que facilitaran la usabilidad y la interacción del usuario con la plataforma.

Isologo del repositorio

El diseño de la interfaz integró el isologo del proyecto como pieza central de su identidad gráfica para equilibrar la imagen institucional de la UNAM con una estética tecnológica propia de la inteligencia artificial, como se observa en la Figura 10. El término isologo se emplea debido a que integra el nombre del logotipo y el símbolo o isotipo en una sola unidad visual indisoluble.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 96 - 108

Figura 10

Isologo que se integró en el encabezado



Este elemento se ubicó estratégicamente en el encabezado, lo que refuerza el sentido de pertenencia y facilita el reconocimiento de la plataforma desde el primer contacto del usuario.

Paleta de color utilizada

La paleta de color se derivó del logotipo, adaptando los colores universitarios a un entorno digital moderno:

Azul principal o primario (#152c70). Utilizado para los elementos estructurales e identidad principal.

Dorado (#a49a77). Aplicado para brindar una identidad institucional y brillante. Se utiliza en el encabezado del sitio y sus derivados en algunos títulos de los recursos recién ingresados al sistema.

Azul claro (#DCE4FF). Aplicado en bordes que separan información y sus tonos derivados en parte de la iconografía y el elemento *footer*.

Blanco (#FFFFFF). Color usado de fondo en todo el sitio. Ayuda a contrastar la información y a la buena lectura de la misma.

La paleta de color anterior fue pensada también para cumplir con los estándares AA de accesibilidad web, priorizando mantener los contrastes adecuados entre el texto y el fondo.

Sistema de iconografía y categorías

Para facilitar la navegación se implementó un sistema de iconografía y códigos de color para las cinco categorías principales de la subcomunidad "Inteligencia Artificial": Análisis y automatización, Aplicaciones especializadas, IA generativa, Procesamiento de Lenguaje natural (PLN) y Visión artificial, como se puede ver en la Figura 11.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 97 - 108

Figura 11

Iconografía y código de color implementados para distinguir las categorías principales del repositorio



Este recurso permitió que el visitante asocie visualmente el contenido con su área temática de forma inmediata, logrando una experiencia de usuario más intuitiva al utilizar los filtros y las fichas de resultados.

Elección de la tipografía

Se seleccionó la fuente Inter (*sans-serif*) debido a su diseño optimizado para pantallas digitales. Esta tipografía es ideal para interfaces de usuario porque la autonomía de sus caracteres permite distinguirlos claramente, reduciendo el esfuerzo al leer.

Entre sus ventajas técnicas destaca que las letras minúsculas cuentan con una mayor altura de x, lo que mejora la legibilidad en tamaños pequeños. Asimismo ofrece una distinción precisa entre caracteres que suelen confundirse (como la «I» mayúscula y la «l» minúscula), lo cual es fundamental para la lectura óptima de datos técnicos. Su integración mediante Google Fonts garantiza tiempos de carga rápidos y una visualización consistente en distintos dispositivos.

2.3.3 INTEGRACIÓN ENTRE CMS Y REPOSITORIO

Se utilizó WordPress en su última versión, con un tema preconfigurado con Bootstrap y generación de plantillas para las páginas, con el fin de optimizar la carga de la información.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 98 - 108

Para integrar los datos del CMS con el repositorio, se recurrió al API de DSpace, que contempló varios *endpoints*. Uno de ellos, /rest/hierarchy, retorna la representación simplificada de la jerarquía anidada de comunidades y colecciones, tal como se indica en la documentación (DSpace, 2022).

Con los datos obtenidos, se generaron las tablas correspondientes del lado del CMS dentro de la jerarquía de la base de datos con un nombre representativo, en este caso "wp_cat". Sus campos hacen referencia al nombre de la comunidad, a sus colecciones e identificadores.

2.3.4 PERSONALIZACIÓN DE WORDPRESS

Una vez definida la identidad visual y validados los *mockups*, se inició la personalización técnica de la interfaz en el sistema de gestión de contenidos (CMS) WordPress. Un factor determinante en la elección de esta plataforma fue la facilidad para administrar contenidos, su capacidad para integrar extensiones desarrolladas por la comunidad o propias y su flexibilidad para personalizar la interfaz gráfica, ya sea mediante ajustes directos en el personalizador de temas y CSS, o a través de la edición de archivos fuera del entorno de Wordpress, lo que garantiza un control total sobre la adaptación visual del sitio.

Cabe mencionar que hacer uso de extensiones bien posicionadas en el sitio oficial de WordPress o creadas por desarrolladores reconocidos, implica que se atraviesen controles de calidad, reduciendo significativamente el riesgo de incluir código malicioso o puertas traseras. Asimismo, la actualización periódica no sólo incorpora nuevas funcionalidades o mejoras de rendimiento, sino que corrige vulnerabilidades de seguridad recientemente descubiertas antes de que puedan ser aprovechadas por posibles atacantes. Desatender cualquiera de estas dos prácticas puede exponer a la plataforma tecnológica que sostiene la arquitectura del sistema a caídas del servicio y comprometer la infraestructura del servidor.

Selección y configuración del tema base

Para el desarrollo del *frontend*, se optó por un tema multipropósito de diseño adaptativo (*responsive*) llamado Bootstrap Starter Theme. Esta plantilla sirvió como base para organizar los elementos visuales y la arquitectura de la información. Se eligió usar este tema principalmente porque contiene componentes propios listos para usar, además de estilos CSS disponibles para ser invocados cuando se está desarrollando la estructura en HTML, lo que ayuda a acelerar el proceso de maquetación y facilita la personalización y la aplicación de la identidad gráfica. Otros factores que influyeron en la elección de este tema base fueron su estructura simple, su peso ligero de almacenamiento y su código limpio optimizado para buscadores.

Personalización de la interfaz mediante CSS

La aplicación de la identidad visual permitió pasar de los *mockups* de alta fidelidad a una interfaz funcional, consolidando la capa de superficie del sitio. Con la estructura base ya implementada, la personalización se basó en la intervención directa de la hoja de estilos, para reflejar lo más fielmente posible al diseño aprobado.

Mediante el uso de CSS, se asignaron las propiedades visuales a los elementos del sitio. En este proceso, se estableció la jerarquía de colores y se definió la maquetación a través de márgenes, espacios internos (*paddings*) y alineaciones; asimismo, se integraron los elementos tipográficos, lo cual implicó configurar sus pesos y variantes para asegurar la legibilidad técnica de la fuente Inter.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 99 - 108

La iconografía y los recursos gráficos se gestionaron mediante la biblioteca de WordPress, desde donde se invocaron directamente en la hoja de estilos. El paso anterior permitió la realización de este proceso con una mayor fluidez sin la necesidad de cambiar de entorno.

El flujo para esta personalización se desarrolló en dos etapas:

Edición dinámica. Inicialmente, los estilos se agregaron dentro del entorno de personalización de WordPress (CSS adicional), lo que permitió contar con una previsualización inmediata para validar los campos en tiempo real.

Consolidación técnica. Una vez verificada la correcta visualización y el comportamiento adaptativo (*responsive*), los estilos se trasladaron directamente a la hoja de estilos principal en el archivo del servidor, asegurando una implementación limpia y optimizada.

Esta base técnica permitió que el sistema de filtros avanzados funcionara con precisión, ya que cada recurso contó con la información necesaria para ser recuperada por el buscador de manera ágil.

2.3.5 MOTOR DE BÚSQUEDA: CONFIGURACIÓN Y CONSUMO DE LA API DE APACHE SOLR PARA RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN

Como se mencionó anteriormente, se cuenta con la tabla “wp_cat”, la cual contiene las comunidades y colecciones de DSpace. Con el fin de relacionarla, se recuperó esta información para compararla con la que existe en el indexador Apache Solr, ya que en esta plataforma no se cuenta con el nombre, sólo el identificador.

Para formar las tablas de opciones de búsqueda subcategorías, tipo de recursos y procedencia, se generó cada una de estas categorías de búsqueda; por ejemplo, “wp_sb_cat”, “wp_type”, “wp_prodc” (todos los nombres de las tablas fueron opcionales, con excepción del prefijo wp_). El almacenamiento hizo referencia al nombre y a un identificador.

Se realizaron las distintas consultas al API con las acotaciones necesarias para recuperar la información correspondiente a cada tabla. Todo el proceso ocurrió en el *backend*, con el API de Apache Solr y su configuración. A continuación se presente un ejemplo general del *endpoint*:

/solr/search/select?q=%3A&wt=json&indent=true

Esta construcción o formato de *endpoint* sigue la estructura de consulta que describen Nair *et al*. (2018) para Apache Solr. Según los autores, una búsqueda en Solr se realiza mediante una petición HTTP dirigida a un manejador de consultas, regularmente /select. El comportamiento de esa petición se define con parámetros que se agregan al *query string*. Entre ellos, principalmente se encuentra q, que contiene la consulta principal; fq (*filter query*), que restringe los resultados sin alterar su relevancia; y fl, que indica qué campos devuelve la respuesta. Los autores recomiendan separar la consulta principal de los filtros, porque Solr almacena en caché los resultados de cada fq de forma independiente. Esto agiliza las búsquedas que se repiten con distintas combinaciones de filtros.

Éste es un ejemplo estructural de consulta de datos con el parámetro fl, que limita la consulta por campos:

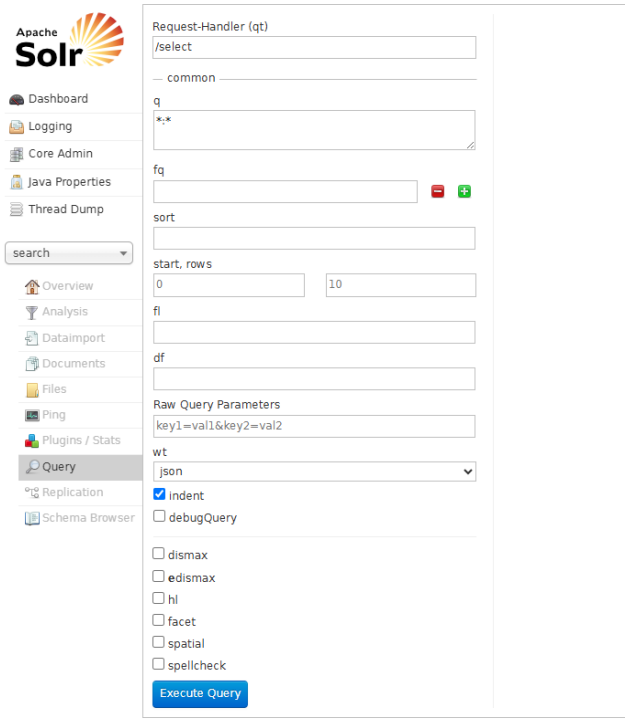
/solr/search/select?q=%3A&fq=location.comm%cf6b-4510-a774-7062e2657816&wt=json&indent=true

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 100 - 108

En la Figura 12, se muestra un panel de administración de Apache Solr, donde es posible estructurar la consulta y realizar pruebas.

Figura 12

Panel de administración de Apache Solr



En el panel de arriba, se muestran diferentes combinaciones para realizar la estructura del *endpoint*, como es el fl, pero también encontramos el *sort* para ordenamiento; *start*, *rows* que son para el inicio de presentación de recursos, entre otros metadatos con los que se pueden interactuar para realizar una búsqueda de recursos más precisa.

2.3.6 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN: JAVASCRIPT PARA LA GESTIÓN DE ESTADOS Y DINAMISMO DEL FRONTEND

Filtros de búsqueda

La interfaz de búsqueda, como se muestra en la Figura 13, incluyó la posibilidad de depurar los resultados mediante la combinación de los filtros:

- Categorías
- Subcategorías
- Tipo de recurso

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 101 - 108

- Procedencia

Figura 13

Filtros en la interfaz de búsqueda de recursos

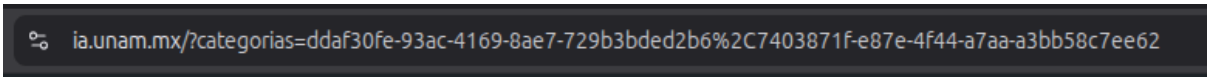


Para la implementación del funcionamiento de los filtros de búsqueda, se desarrolló un componente de *software* encargado de implementar un método para renderizar el código HTML de la barra lateral. Dicho componente incluye un conjunto anidado de elementos tipo *checkbox* que el visitante del sitio puede seleccionar según sus requerimientos de búsqueda de información.

El componente, mediante código JavaScript, se encargó de formar el *query string* correspondiente a la configuración de filtros seleccionada por el usuario, como se muestra en la Figura 14, así como de realizar la actualización de la lista de recursos encontrados.

Figura 14

Ejemplo de un query string resultado de la selección de filtros en la interfaz de búsqueda



Una función trascendental es la persistencia de la selección a través de la URL y los parámetros, mejorando notablemente la experiencia de usuario.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 102 - 108

2.4 INTEGRACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

2.4.1 RESPONSIVIDAD

Para concluir la fase de desarrollo de la interfaz, se ejecutó la optimización técnica y la adaptación responsiva del sitio. El diseño fue concebido desde el inicio para adaptarse a dispositivos móviles, como sugiere el desarrollo web actual (Wroblewski, 2011, p. 32), por lo que la planeación para pantallas pequeñas se realizó en paralelo a la de escritorio desde las fases de maquetación. El objetivo fue garantizar una experiencia de usuario consistente, manteniendo la jerarquía visual en cualquier resolución.

Adaptabilidad de componentes y jerarquía visual

Durante este proceso, se aseguró que los elementos clave de la interfaz (como el encabezado, el carrusel de los recursos recientes, el buscador, los filtros avanzados y las fichas de resultados) conservaran su protagonismo y funcionalidad. La jerarquía establecida en los *mockups* de alta fidelidad se trasladó al entorno móvil mediante reglas de estilo que permiten a cada componente adaptarse dinámicamente en ancho y alto, preservando la identidad visual y funcionalidad del sitio.

Lógica del reordenamiento de la interfaz

Aunque el tema seleccionado contaba con una estructura responsiva basada en Bootstrap, se intervino la hoja de estilos para refinar el comportamiento de los componentes. A través de *media queries* en el archivo CSS, se definieron puntos de ruptura (*breakpoints*) específicos para asegurar una visualización correcta en resoluciones reducidas.

Esta lógica de reordenamiento vertical permite que los elementos que en la versión de escritorio se ordenan de forma horizontal (como la barra lateral de filtros a la izquierda y los resultados a la derecha) se dispongan de manera automática uno debajo del otro. Esta estructura técnica garantiza que el usuario mantenga el acceso al sistema de búsqueda y la claridad en la lectura de la información, asegurando un flujo de navegación continuo.

2.4.2 OPTIMIZACIÓN

La eficiencia en el acceso a la información es fundamental para ofrecer una herramienta de consulta rápida y una experiencia de usuario satisfactoria. Para ello, se optimizaron los elementos gráficos e imágenes con Adobe Photoshop, reduciendo su peso digital sin comprometer la nitidez ni la calidad requerida.

Asimismo, desde la fase de *mockups* de alta fidelidad, se visualizó una interfaz basada principalmente en estilos CSS (colores, espacios y márgenes), reduciendo la dependencia de recursos gráficos pesados. La inclusión de imágenes se limitó a elementos indispensables (como iconografía, logotipos y *backgrounds*), por lo que la carga del sitio recae, en mayor medida, en el código fuente que en los archivos de imagen.

Para la optimización de las hojas de estilos, el código repetitivo de JavaScript utilizó el *plugin* autoptimize, el cual se encarga de optimizar, compactar y unir los diferentes archivos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 103 - 108

2.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Una vez implementado el sistema, se agregó como mejora una sección que permite al administrador del sitio sincronizar la información actualizada de las categorías y catálogos como Jerarquía, Tipos, Formatos y Procedencia con la información provista desde el repositorio DSpace.

Esta sincronización se pudo realizar de dos formas: 1) mediante la programación de un cron que realiza la operación de manera cronológica, como se muestra en la Figura 15, o 2) mediante la acción explícita de actualización desde la interfaz del *plugin*, como se observa en la Figura 16.

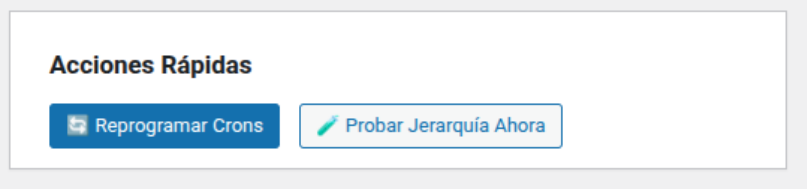
Figura 15

Pantalla que muestra el estado de los Cron Jobs



Figura 16

Botones para la acción de actualización en la pantalla de administración



Posterior a la puesta en producción del sitio, se incluyó la sección "Explora las publicaciones recién ingresadas" como un nuevo requerimiento, con el objetivo de proporcionar mayor visibilidad a los recursos catalogados recientemente. Aprovechando la API expuesta por Solr, utilizada en la búsqueda de recursos anteriormente mencionada, se configuraron los parámetros para obtener diez recursos, ordenándolos por fecha de registro. Estos recursos se muestran en la página principal, dentro de un carrusel, con una paginación y elementos de navegación propios de este componente.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 104 - 108

3. RESULTADOS

El entorno de DSpace del repositorio quedó organizado mediante la subcomunidad "Inteligencia Artificial" y sus cinco colecciones: Análisis y automatización, Aplicaciones especializadas, IA generativa, Procesamiento de Lenguaje Natural y Visión artificial. Dentro de las colecciones, se catalogaron más de 800 recursos, entre los que se incluyen artículos académicos, conferencias, seminarios, libros, capítulos, notas informativas, videos, ponencias, materiales audiovisuales y proyectos de investigación. Cada uno fue descrito con nueve elementos del estándar Dublin Core y diez metadatos adicionales que fueron definidos específicamente para el proyecto, con el propósito de permitir una recuperación más precisa y una presentación personalizada de la información.

La interfaz se generó con la identidad visual definida en la etapa de diseño: el isologo del repositorio, la paleta de color derivada del logotipo institucional (con contraste suficiente para cumplir el nivel AA de la WCAG 2.1), la tipografía Inter y el sistema de iconografía por categoría. La página principal integró, desde el primer contacto, el buscador, los filtros avanzados (categoría, subcategoría, tipo de recurso y procedencia) y las fichas de resultados, organizadas en cuadrícula y con actualización instantánea al aplicar filtros, sin recargar la página. Cada recurso presentado tiene su vínculo a una visualización con la información completa y organizada en dos columnas, según su relevancia. El diseño responde de forma adaptativa en dispositivos móviles, reordenando verticalmente los componentes que en la versión para escritorio se distribuyen en horizontal.

En el *backend*, la integración entre WordPress y DSpace se resolvió mediante el consumo del API REST de DSpace, en particular el *endpoint* /rest/hierarchy y la creación de tablas propias en la base de datos de WordPress (wp_cat, wp_sb_cat, wp_type, wp_prodc), que relacionan los nombres visibles en la interfaz con los identificadores usados por DSpace y Apache Solr. Sobre esa base, se construyó la lógica en JavaScript que arma el *query string* a partir de los filtros seleccionados por el usuario, actualiza el listado de resultados y conserva la selección en la URL. Además, se implementó una función de sincronización ejecutable mediante un cron o, de forma manual, desde el *plugin* que mantiene actualizadas las categorías y catálogos de WordPress con la información del repositorio en DSpace.

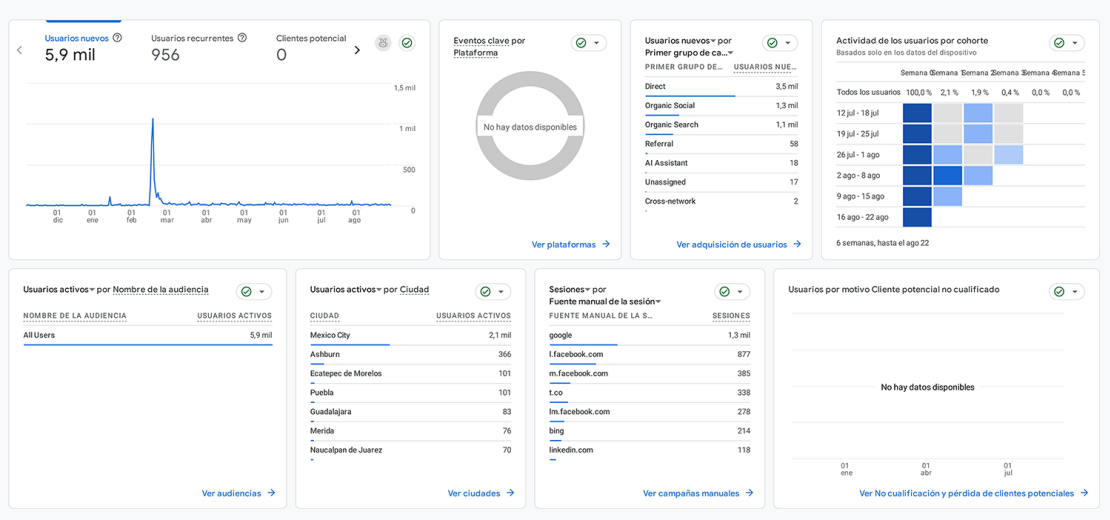
Métricas de uso

Los datos de Google Analytics, correspondientes al periodo del 10 de noviembre de 2025 al 25 de agosto de 2026, mostraron que el repositorio registró 5.9 mil usuarios nuevos y 956 usuarios recurrentes, como se visualiza en la Figura 17. El tráfico se mantuvo estable a lo largo del periodo, con un pico notable a inicios de marzo de 2026, el cual coincide con una posible campaña de difusión o mención externa del repositorio.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 105 - 108

Figura 17

Panel de administración de Google Analytics con datos de UNAM IA en el periodo del 10 de noviembre de 2025 al 25 de agosto de 2026



Por canal de adquisición, la mayor parte de los usuarios nuevos llegó de forma directa (3.5 mil), seguida por redes sociales orgánicas (1.3 mil) y búsqueda orgánica (1.1 mil); los canales de referencia, asistentes de IA y tráfico no asignado representaron una proporción marginal. En cuanto a las sesiones por fuente, Google concentró la mayor parte (1.3 mil), seguido por Facebook (repartido entre sus distintos dominios de enlace), X/Twitter, Bing y LinkedIn.

Geográficamente, los usuarios activos se concentraron en la Ciudad de México con 2.1 mil, seguida a distancia por Ashburn, Virginia con 366 y otras zonas del país como Ecatepec de Morelos, Puebla, Guadalajara, Mérida y Naucalpan de Juárez, con cifras entre 70 y 101 usuarios cada una.

El repositorio logra atraer visitas nuevas de forma constante, pero la recurrencia de los usuarios es un área de oportunidad para futuras versiones del proyecto.

4. CONCLUSIONES

Al reunir en un solo espacio los recursos generados por distintas facultades, institutos, programas, centros, coordinaciones y direcciones de la UNAM, el repositorio ofrece un punto de acceso a las áreas de procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, análisis de información y automatización de procesos, tanto para la consulta especializada como para la divulgación al público general. Las métricas de uso respaldan que, en menos de un año, se alcanzaron casi 6 mil usuarios nuevos, concentrados sobre todo en la Ciudad de México, aunque también con presencia en otras ciudades del país.

La combinación de WordPress, DSpace y Apache Solr, en lugar de usar sólo la interfaz nativa de DSpace, resultó ser la decisión más conveniente para cumplir con los requerimientos del proyecto. Esta arquitectura permitió aprovechar la solidez de DSpace como gestor de repositorios para la preservación, rotulado y

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 106 - 108

administración de recursos y, al mismo tiempo, la flexibilidad de WordPress como capa de presentación, sin necesidad de duplicar información entre ambos sistemas. Por su parte, Apache Solr mantiene la indexación y las búsquedas avanzadas. La separación de responsabilidades facilita el mantenimiento del sistema y da la posibilidad de replicarlo en otros ambientes de repositorios institucionales con necesidades similares.

Este proyecto deja un aprendizaje claro: los repositorios institucionales no funcionan sólo por tener buenos recursos catalogados, también contribuye la experiencia que ofrece a quien lo consulta. La navegación, los filtros y la accesibilidad visual pesaron tanto en el resultado final como la robustez técnica del *backend*.

Las métricas de uso, sin embargo, mostraron que la captación de usuarios nuevos se mantuvo constante, pero la retención se identifica como un punto de mejora pendiente. Esto abre una línea de trabajo futuro: incorporar elementos de difusión que inviten a los usuarios a volver al repositorio, como boletines, alertas de nuevos materiales o recomendaciones personalizadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección General de Repositorios Universitarios y al equipo de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación por la orientación y apoyo institucional que contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Declaración de contribución de autoría

Mario Alberto Arredondo Guzmán: Especialista en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías en web, así como de diseñar y desarrollar componentes de *software*, sistemas informáticos y sitios institucionales, mediante la aplicación de estándares de programación y prácticas especializadas de visibilidad web. Rol dentro del proyecto: Participó en el diseño y programación de los filtros para los resultados de búsqueda y en la persistencia de la lista de resultados, así como en la implementación del ambiente tecnológico de publicación. Participó en el desarrollo de *plugins* personalizados para el gestor de contenidos WordPress, necesarios para la visualización de la barra lateral de filtros de búsqueda, de acuerdo a las categorías utilizadas en la taxonomía para la subcomunidad de Inteligencia Artificial.

Karla Erazo Castrejón: Especialista en diseño web y producción digital. Rol dentro del proyecto: Participó en la arquitectura de la información, propuso la taxonomía para la subcomunidad de Inteligencia Artificial, que contempló las colecciones y subcolecciones como IA generativa, procesamiento del lenguaje natural, análisis y automatización, visión artificial y aplicaciones especializadas; fue líder en la línea de trabajo de catalogación. En este rubro, elaboró archivos de control y monitoreo para la asignación de materiales, avance de la catalogación y carga de recursos en la plataforma DSpace. Asimismo, supervisó al equipo de trabajo por medio de sesiones remotas para el seguimiento de las actividades y brindó asesoría técnica especializada para la homologación de la información conforme al estándar Dublin Core y a las recomendaciones de la DGRU, con el propósito de garantizar visibilidad y consistencia de los recursos en el repositorio.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 107 - 108

Luis Ángel Reséndiz Goche: Especialista en coordinar y asesorar académicamente iniciativas de TI centradas en el desarrollo de sistemas y plataformas web, con especial énfasis en la arquitectura técnica, la analítica avanzada y la optimización de la visibilidad (SEO técnico). Rol dentro del proyecto: Participó en el diseño y programación de los filtros para los resultados de búsqueda y en los mecanismos de persistencia de la lista de resultados. Asimismo, colaboró en la comunicación con las API, en la generación de cron para actualización de datos, en el desarrollo de los *plugins* y plantillas personalizadas para la generación de contenido, así como en la configuración del ambiente contenerizado con Docker.

Miguel Ángel Islas Flores: Especialista en diseño de interfaces web, así como en optimización de experiencia de usuario. Rol dentro del proyecto: Diseñador web y de experiencia de usuario. Elaboró la identidad gráfica del repositorio, y diseñó el isologo, paleta de colores, la iconografía, y los elementos visuales que se presentan en la interfaz del sitio. Colaboró en la definición de la arquitectura de la información y el mapa de sitio, y en la organización de los contenidos para la elaboración de los *wireframes*. Desarrolló los *mockups* de alta fidelidad e implementó la interfaz gráfica en el gestor de contenidos WordPress. Su contribución permitió que el sitio web contara con un diseño visual estético y una experiencia de usuario intuitiva, que facilita la búsqueda, navegación y localización de recursos de forma ágil y eficiente.

Transparencia editorial: El autor Miguel Ángel Islas Flores forma parte del equipo de producción y diseño de la revista CTUD. El proceso de evaluación por pares doble ciego de este manuscrito fue gestionado de manera completamente independiente. El autor no participó en ninguna etapa de la revisión arbitrada, ni en la decisión final de aceptación de este reporte.

REFERENCIAS

Amazon Web Services. (s. f.). *¿Cuál es la diferencia entre el front end y back end en el desarrollo de aplicaciones?* https://aws.amazon.com/es/compare/the-difference-between-frontend-and-backend/

Bordero, E., De Giusti, M., Radicelli, C., y Villacrés, E. (2019). Análisis de los repositorios digitales institucionales de Acceso Abierto en el Ecuador. *Revista Espacios, 40*(32), 15-23. https://revistaespacios.com/a19v40n32/a19v40n32p15.pdf

Castañeda de León, L. M., Ramírez Molina, A. Y., Castillejos Reyes, J. M., y Ventura Miranda, M. T. (2025). *Uso y desarrollo ético de la Inteligencia Artificial en la Universidad: docencia e investigación*. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. https://www.tic.unam.mx/sdc_download/26504/?key=4j44kz5beauhcoumv0ls2qxeifo40l

Castorina, J. A. (2023). *Acciones de preservación digital en repositorios institucionales cosechados por el Sistema Nacional de Repositorios Digitales de la Argentina: situación actual, características y desafíos a futuro* [tesis de especialidad, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio institucional FaHCE-UNLP. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.2526/te.2526.pdf

Comisión de Esquema de Metadatos y Catálogos Institucionales del Comité Técnico del Repositorio Institucional de la UNAM. (2025). *Esquema de Metadatos para Repositorios Universitarios*. Repositorio Institucional de la UNAM. https://repositorio.unam.mx/archivo/Esquema-de-metadatos-para-repositorios-universitarios-202509.pdf

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.202 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 108 - 108

DSpace. (2022). *REST API*. LYRASIS Wiki. https://wiki.lyrasis.org/spaces/DSDOC6x/pages/68064836/REST+API

Dumoulin, L. (2021). *WordPress: desarrolle con PHP extensiones, widgets y temas avanzados (teoría, TP, recursos)* (2.ª ed.). Ediciones ENI.

Frain, B. (2020). *Responsive Web Design with HTML5 and CSS* (3.ª ed.). Packt Publishing.

Garrett, J. J. (2011). *The elements of user experience: User-centered design for the web and beyond* (2.ª ed.). New Riders.

Nair, S., Mehta, C., y Vasoya, D. (2018). *Mastering Apache SolR 7.X: An expert guide to advancing, optimizing, and scaling your enterprise search*. Packt Publishing Ltd.

Picón, G. A. (2024). Perspectiva del Repositorio Digital Institucional en la Protección y Difusión de la Actividad Académica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8*(2), 4210-4227. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10831

Pressman, R. S., y Maxim, B. R. (2021). *Ingeniería del software: un enfoque práctico* (9.ª ed.). McGraw-Hill.

Salas Zendejo, D. (2021). Implementación de un metabuscador para la agrupación de recursos abiertos digitales de la Universidad Autónoma de Nuevo León [capítulo]. En M. García, S. Rodríguez, D. Salas, y J. Torres (Coords.), *Experiencias de repositorios institucionales en México* (pp. 45-55). Octaedro. https://libros.uanl.mx/index.php/u/catalog/view/80/100/324

Sánchez Quiroz, G. L., Vera Estrada, V. M., Mantuano Casual, M. A., Beltrán Salas, W. G., y Villareal Cobeña, A. W. (2022). Análisis del uso de la herramienta Dspace para la gestión de información: implementación de un repositorio institucional. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6*(2), 2792-2803. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2054

Tidwell, J., Brewer, C., y Valencia, A. (2020). *Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design* (3.ª ed.). O'Reilly Media.

Wroblewski, L. (2011). *Mobile First*. A Book Apart.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 109 - 126

Red IoT para el monitoreo de temperatura y humedad en una sala de cómputo

IoT network for temperature and humidity monitoring in a computer room

Adrián Leonardo Rodríguez Pichardo
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
adrian.rodriguez2003@outlook.com
ORCID: 0009-0003-7192-0955

José Alberto Aparicio Santos
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
alberto.aparicio@unam.mx
ORCID: 0000-0002-6911-1759

Karla Fabiola Barajas Pérez
Grupo de investigación Competencias, Tecnologías y Sociedad en Educación
Universidad de Lleida
karlabarajas.research@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0918-0071

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Rodríguez Pichardo, A. L., Aparicio Santos, J. A. y Barajas Pérez, K. F. (2026). Red IoT para el monitoreo de temperatura y humedad en una sala de cómputo. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (109 - 126). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198

Resumen

El monitoreo ambiental en salas de servidores y computadoras es un elemento clave para el correcto funcionamiento de los equipos; sin embargo, suele depender de revisiones manuales o de equipos costosos que no siempre se adaptan a las necesidades del lugar. Para atender esta situación en un área de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación de la Universidad Nacional Autónoma de México, se construyó una red de seis nodos con sensores de temperatura y humedad relativa basados en

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 110 - 126

microcontroladores con conectividad inalámbrica. Cada nodo expuso sus lecturas como un servidor web ligero, lo que permitió integrarlos directamente con una plataforma de recolección de métricas por consulta periódica.

Los valores se almacenaron en una base de datos de series temporales y se visualizaron en tableros con líneas de umbral configurables. Para el manejo de alertas y reportes, se desarrolló un bot de mensajería que respondió comandos del operador, generó archivos en distintos formatos y envió notificaciones automáticas al detectar valores fuera de rango, todo sin requerir *software* adicional en el dispositivo del usuario.

Los registros obtenidos mostraron que la temperatura se mantuvo entre 18 y 29 °C, mientras que la humedad relativa presentó valores entre 12.1 y 60 %, lo que derivó en un ajuste en los umbrales de alerta. El sistema operó de forma estable, resultó considerablemente más económico que las soluciones comerciales revisadas y su arquitectura permite replicarlo en otros espacios que requieran vigilancia ambiental continua con recursos limitados. Entre sus restricciones, se encuentran la dependencia de la conectividad Wi-Fi y la posibilidad de pérdida de datos durante interrupciones en la comunicación. Aun así, el sistema incorpora rutinas de reconexión en caso de pérdida de señal o energía.

Palabras clave: Alertas automáticas, internet de las cosas, microcontroladores de bajo costo, monitoreo ambiental, bases de datos de series temporales.

Abstract

Environmental monitoring in server and computer rooms is key to ensuring that equipment operates properly; however, it typically relies on manual checks or expensive equipment that does not always meet the specific needs of the location. To address this situation in an area of the Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación at the Universidad Nacional Autónoma de México, a network of six nodes was built, equipped with temperature and relative humidity sensors based on microcontrollers with wireless connectivity. Each node exposed its readings as a lightweight web server, allowing them to be integrated directly with a metrics collection platform via periodic queries.

The data were stored in a time-series database and visualized on dashboards with configurable thresholds. To manage alerts and reports, a messaging bot was developed that responded to operator commands, generated files in various formats, and sent automatic notifications when out-of-range values were detected, all without requiring additional software on the user's device.

The data collected showed that temperature remained between 18 and 29 °C, while relative humidity ranged from 12.1 to 60%, leading to an adjustment in the alert thresholds. The system operated stably, proved to be considerably more cost-effective than the commercial solutions reviewed, and its architecture allows it to be replicated in other spaces that require continuous environmental monitoring with limited resources. Among its limitations are its reliance on Wi-Fi connectivity and the possibility of data loss during communication interruptions. Nevertheless, the system is programmed with reconnection routines in the event of signal or power loss.

Keywords: *Automatic alerts, Internet of Things, low-cost microcontrollers, environmental monitoring, time-series databases.*

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 111 - 126

1. INTRODUCCIÓN

El funcionamiento continuo de los sistemas de cómputo depende en gran medida de las condiciones ambientales del espacio donde operan. La temperatura y la humedad relativa influyen directamente en el desempeño y la vida útil de los equipos: la baja humedad favorece las descargas electrostáticas que dañan componentes, la elevada provoca condensación y corrosión interna; por su parte, la exposición prolongada a temperaturas altas acelera el desgaste de procesadores, unidades de almacenamiento y otros componentes (Dwyer Instruments, s.f.; Grundy, 2005). En este sentido, Jiménez-Morales *et al.* (2022) señalan que la falta de control de estas variables dentro de una sala de servidores o centro de datos puede derivar en riesgos importantes para la operación, como la oxidación de componentes, el sobrecalentamiento del equipo e incluso incendios, lo que confirma la relevancia de contar con mecanismos de monitoreo confiables y permanentes.

Para garantizar condiciones operativas adecuadas, se recomienda mantener la temperatura entre 20 °C y 24 °C, con alertas cuando ésta supere los 30 °C. La humedad relativa, por su parte, debe mantenerse entre 45 %RH y 55 %RH, estableciendo umbrales críticos por debajo del 30 %RH y por encima del 70 % (Grundy, 2005). Dado que ambas variables están físicamente relacionadas, su control conjunto resulta fundamental: a medida que crece el valor de la infraestructura de tecnologías de la información (TI) instalada, también lo hacen los riesgos y costos asociados a condiciones fuera de rango (Grundy, 2005). Esta relación ha sido documentada en experiencias previas de monitoreo en centros de datos; por ejemplo, Domínguez García *et al.* (2019), en su implementación para el Centro Universitario de los Valles de la Universidad de Guadalajara, ubican el rango óptimo de humedad relativa entre 40 % y 55 %, siguiendo la norma TIA/EIA-942, y advierten que valores por debajo de ese umbral incrementan el riesgo de descargas electrostáticas mientras que valores por encima favorecen la corrosión de los componentes.

En una de las áreas de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) de la Universidad Nacional Autónoma de México, existían oportunidades de mejora sobre esta vigilancia, ya que no se contaba con un sistema automatizado. El monitoreo dependía de revisiones manuales, lo que dejaba abierta la posibilidad de que una condición crítica pasara desapercibida fuera del horario de trabajo. Plataformas consolidadas como Nagios o Zabbix representan una opción para este tipo de necesidades, pero su configuración requiere un tiempo considerable y sus esquemas de licenciamiento pueden resultar costosos para un proyecto institucional (Nagios Enterprises, 2026; Zabbix LLC., s.f.).

Ante este escenario, el internet de las cosas (*Internet of Things,* IoT) abre una alternativa: soluciones a la medida con *hardware* accesible y *software* de código abierto, adaptado a las condiciones del espacio a monitorear. Esta tendencia hacia soluciones propias, de bajo costo y con herramientas de uso libre, coincide con lo reportado por Vega Luna *et al.* (2020), quienes desarrollaron en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco una red de monitorización de temperatura, humedad y calidad del aire para centros de datos, destacando que este tipo de implementaciones basadas en bibliotecas de código abierto y comunicación inalámbrica reduce el tiempo y la complejidad de instalación frente a soluciones comerciales cerradas, además de permitir el envío de alertas oportunas al personal responsable ante condiciones fuera de rango.

Durante el periodo comprendido entre febrero y mayo de 2026, se buscó desarrollar un sistema de bajo costo, funcional y autónomo para el monitoreo de variables ambientales, integrando microcontroladores NodeMCU V3 y ESP32-C3 SuperMini con sensores DHT22. La recolección y almacenamiento de métricas

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 112 - 126

se realizaron mediante Prometheus, mientras que Grafana se empleó para su visualización en tiempo real. Además, se desarrolló en Python un chatbot para Telegram que permite al personal consultar el estado de los sensores, generar reportes en distintos formatos y recibir alertas automáticas cuando algún valor superara los umbrales establecidos; todo ello puede realizarse desde cualquier dispositivo con acceso a internet y sin necesidad de instalar *software* adicional.

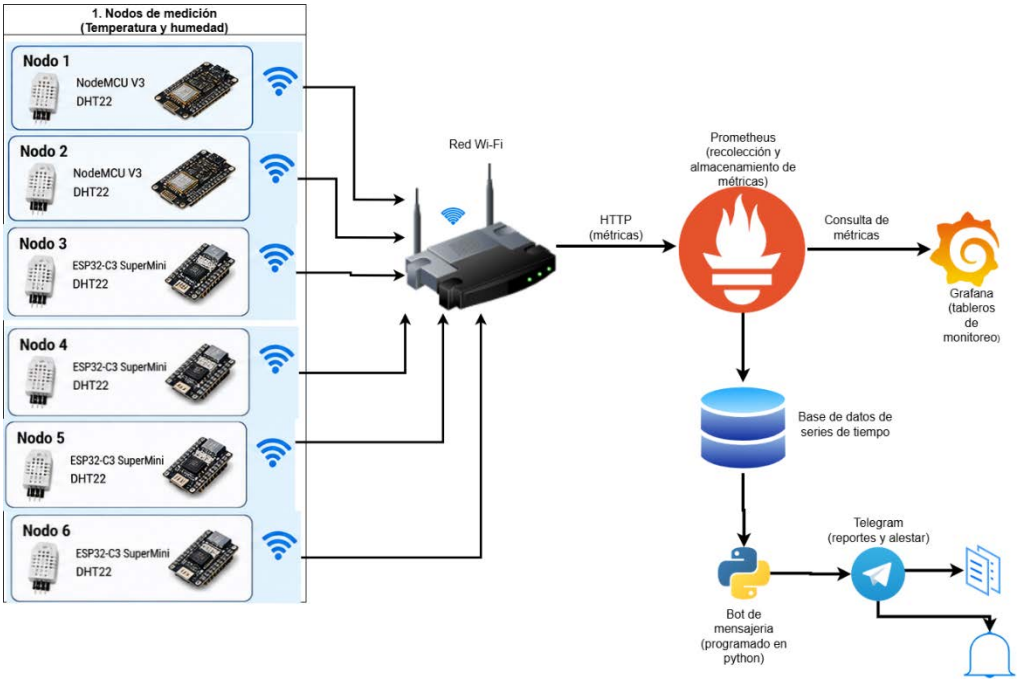
Por lo anterior, el objetivo del proyecto fue diseñar e implementar una red IoT para el monitoreo continuo de la temperatura y humedad relativa en una sala de cómputo, con el propósito de poder supervisar las condiciones ambientales de forma automática y generar alertas en caso de que los valores se encuentren fuera de los rangos establecidos.

2. DESARROLLO TÉCNICO

Se diseñó e implementó una red de sensores IoT para el monitoreo continuo de temperatura y humedad relativa en un área de la DGTIC. El sistema estuvo conformado por seis nodos distribuidos en puntos estratégicos del área, una capa de almacenamiento y visualización de métricas, así como una interfaz de operación basada en un bot de mensajería instantánea. En la Figura 1, se muestra el diagrama de flujo de la información desde los nodos de medición, a través de la red, hasta Prometheus, Grafana y el bot de Telegram para visualización, generación de reportes y envío de alertas.

Figura 1

Arquitectura general de la solución propuesta para el monitoreo de temperatura y humedad relativa



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 113 - 126

A continuación, se describe la metodología seguida para la construcción del proyecto y los resultados obtenidos durante su operación.

2.1 METODOLOGÍA

2.1.1 DISEÑO DEL HARDWARE

La medición de variables ambientales mediante redes de sensores inalámbricos ha sido objeto de estudio en el ámbito académico desde hace más de una década. Rubio *et al.* (2016), en un trabajo publicado en la revista *Ingeniería, Investigación y Tecnología* de la UNAM, demostraron la viabilidad de construir prototipos de bajo costo para el monitoreo ambiental integrando arreglos de sensores con plataformas de procesamiento embebido, señalando que la selección del sensor adecuado es determinante para la confiabilidad de los datos obtenidos. Esta premisa fue el punto de partida para evaluar los sensores disponibles en el presente proyecto. En la Tabla 1, se presenta una comparativa entre los sensores DHT11 y DHT22 utilizados para la medición de temperatura y humedad relativa.

Tabla 1

Comparativa de Sensores DHT11 y DHT22

Características	DHT11	DHT22
Costo	Bajo	Medio
Frecuencia de Muestreo	1 Hz (1 lectura cada 1s)	0.5 Hz (1 lectura cada 2 s)
Precisión de Humedad	±5 %RH	±2 %RH
Precisión de Temperatura	±2 °C	±0.2 °C
Rango de Humedad	20 %RH – 90 %RH	0 %RH – 100 %RH
Rango de Temperatura	0 °C – 50 °C	-40 °C – 125 °C
Resolución	8-bit (1 °C, 1 %RH)	16-bit (0.1 °C, 0.1 %RH)

El DHT11 fue considerado inicialmente por su bajo costo, sin embargo, su precisión de ±2 °C en temperatura y ±5%RH en humedad relativa, así como su rango de medición limitado, resultaron insuficientes para un entorno donde los umbrales de alerta son críticos (Aosong, 2018). El DHT22 superó estas limitaciones al ofrecer una precisión de ±0.2 °C en temperatura y ±2 %RH en humedad relativa, con un rango que abarca desde −40 °C hasta 125°C y de 0 %RH a 100 %RH; su comunicación con el microcontrolador se realiza a través de un único pin de datos mediante un protocolo propietario de un solo hilo que transmite 40 bits por lectura, lo cual simplifica el cableado de cada nodo y reduce los puntos de falla en la instalación (Aosong, s.f.). Esta elección también se sustenta en que el DHT22 ha sido ampliamente adoptado en sistemas de monitoreo ambiental de bajo costo, donde su relación entre precisión y precio lo posiciona como la opción más adecuada frente a alternativas más costosas (Vallejo-Sanchez *et al.*, 2024).

Por otro lado, para los nodos de medición se contaba con dos microcontroladores disponibles en el área: el NodeMCU V3, basado en el chip ESP8266, y el ESP32-C3 SuperMini. En la Tabla 2, se presentan sus especificaciones.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 114 - 126

Tabla 2

Comparativa de microcontroladores utilizados en la red de sensores

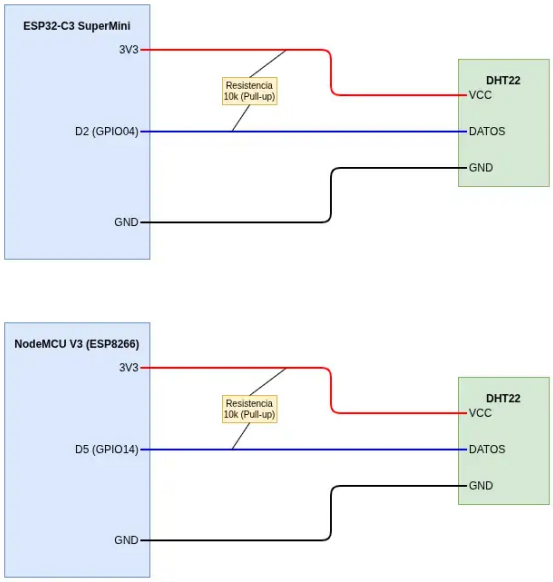
Característica	NodeMCU V3 (ESP8266)	ESP32-C3 SuperMini
Arquitectura del procesador	Xtensa LX160 (32 bits)	RISC-V (32 bits)
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n	Wi-Fi 802.11 b/g/n + Bluetooth LE 5.0
Memoria FLASH	4 MB	4 MB
Pines GPIO	17 (11 usables)	11
Protocolos de comunicación	UART, SPI, I^2C	UART, SPI, I^2C
SRAM	160 KB	400 KB
Velocidad de reloj	80 / 160 MHz	160 MHZ
Voltaje de operación lógico	3.3 V	3.3 V
Voltaje de alimentación	5 V	5 V

El ESP8266 marcó un punto de inflexión en el desarrollo de proyectos IoT de bajo costo cuando Espressif lo lanzó al mercado alrededor de 2014; su integración de conectividad Wi-Fi en un chip de bajo consumo y precio accesible lo convirtió rápidamente en la plataforma de referencia para proyectos que implican recolección de datos de forma inalámbrica en entornos académicos e industriales (Espressif Systems, 2025). El ESP32-C3 SuperMini es una evolución más reciente de esa misma línea, con un núcleo RISC-V de 32 bits, soporte adicional para Bluetooth LE y mayor capacidad de SRAM, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones donde el procesamiento local o la concurrencia de tareas es relevante (Espressif Systems, 2026). Asimismo, ambos modelos operan a 3.3 V lógicos y son directamente compatibles con el sensor DHT22 sin requerir circuitos adicionales (HandsOn Technology, s.f.). En la Figura 2, se muestra el diseño del diagrama de conexión de cada nodo de la red utilizado en este proyecto.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 115 - 126

Figura 2

Diagrama de conexión de cada nodo de la red de sensores DHT22 con los microcontroladores NodeMCU V3 y ESP32-C3 SuperMini



Lozada Contreras y Bautista España (2024), en su trabajo sobre monitoreo de variables ambientales en espacios laborales con NodeMCU ESP32, muestran que la combinación de microcontroladores con conectividad Wi-Fi integrada y sensores ambientales permite construir sistemas de telemetría funcionales y replicables sin necesidad de infraestructura adicional, lo que reforzó la decisión de integrar ambos modelos en una arquitectura común capaz de soportarlos sin distinción.

En cuanto al almacenamiento y la visualización de datos, se seleccionaron Prometheus y Grafana. Prometheus es una herramienta de monitoreo de código abierto que recolecta métricas mediante peticiones HTTP periódicas a los dispositivos, un enfoque que se adapta a la forma en que los microcontroladores exponen sus lecturas a través de *endpoints* web en la ruta /metrics (Prometheus, 2026). Grafana actúa como capa de visualización, conectándose a Prometheus para la construcción de tableros en tiempo real y la gestión de alertas basadas en umbrales (Grafana Labs, 2026). Para la generación de reportes y el envío de notificaciones, se empleó la API de bots de Telegram, integrada mediante Python, que permite el envío de mensajes de texto y archivos adjuntos, posibilitando la entrega de reportes en PDF, PNG y CSV directamente en el chat (Telegram Messenger LLP, 2026).

2.1.2 PROGRAMACIÓN DEL FIRMWARE

El desarrollo continuó con la programación de cada nodo de la red. Ambos *firmwares* fueron implementados en C++, usando el IDE de Arduino, y comparten la misma lógica general, con variaciones en las bibliotecas de red por las diferencias entre plataformas. En el NodeMCU V3, se emplearon las bibliotecas ESP8266WiFi.h (ESP8266 Community, s.f.) y WiFiServer (ESP8266 Community, 2014), mientras que en el ESP32-C3 SuperMini se utilizaron WiFi.h y WebServer.h (Grokhotkov, 2014). Esta última tiene

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 116 - 126

soporte nativo para el enrutamiento de rutas HTTP. En ambos casos, el sensor DHT22 se inicializó con la biblioteca DHT.h de Adafruit, que abstrae el protocolo de un solo pin de datos y devuelve los valores como flotantes (Adafruit Industries, 2018).

El ciclo de operación de cada nodo se estructuró en tres tareas concurrentes: reconexión automática a la red Wi-Fi, lectura periódica del sensor cada 3 s y atención de peticiones HTTP entrantes. El intervalo de lectura de 3 s fue elegido deliberadamente mayor al mínimo admitido por el DHT22 (2 s), para dar margen a posibles retardos en el bus de datos sin riesgo de lecturas solapadas. Ante una lectura inválida, el valor se descartó y el *endpoint* /metrics respondió con un código HTTP 503 hasta disponer de datos válidos, evitando el registro de valores nulos o corruptos en Prometheus. Cuando la lectura fue correcta, los valores se expusieron en formato de texto plano, con el tipo *gauge* y etiquetas que identifican el sensor y el modelo de microcontrolador, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Estructura de métricas expuestas para sensores DHT22 en formato Prometheus

```
# TYPE dht22_temperatura gauge
dht22_temperatura{sensor_id="2",microcontrolador="esp32_c3"} 23.50
# TYPE dht22_humedad gauge
dht22_humedad{sensor_id="2",microcontrolador="esp32_c3"} 35.00
```

Una decisión de diseño central fue que todos los nodos, independientemente del modelo de microcontrolador, exponen exactamente los mismos nombres de métrica (dht22_temperatura y dht22_humedad), diferenciándose únicamente por sus etiquetas. Esto permitió que las consultas PromQL y los paneles de Grafana filtraran o agruparan cualquier combinación de sensores sin modificar la configuración del sistema, lo que simplificó significativamente la escalabilidad de la red. Asimismo, ante la pérdida de conexión Wi-Fi, el *firmware* intentó reconectarse cada 20 segundos y, de no lograrlo, ejecutó ESP.restart() para reiniciar el dispositivo automáticamente, garantizando que un nodo colgado no requiriera intervención manual para recuperarse.

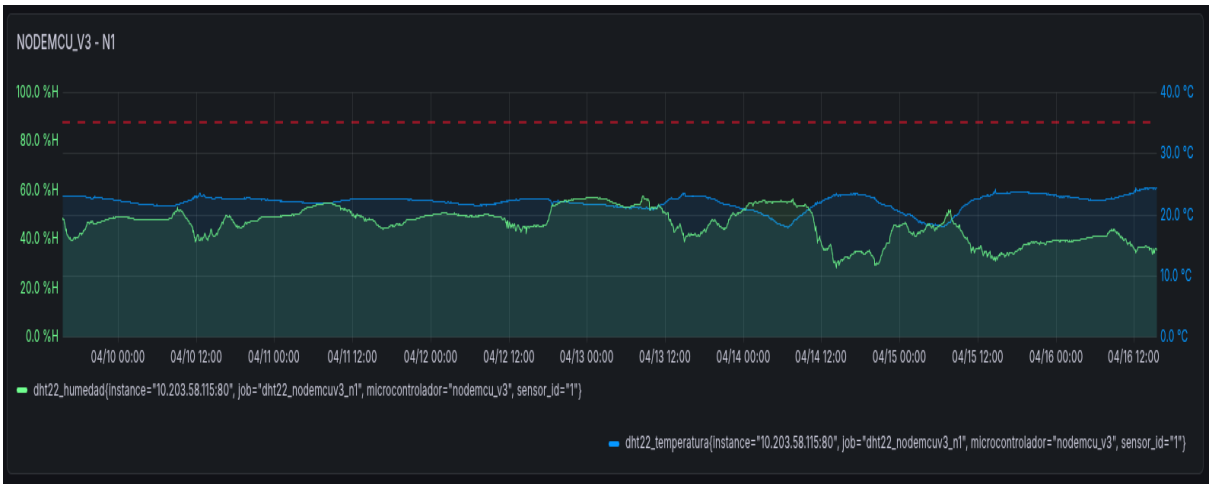
2.1.3 CONFIGURACIÓN DE PROMETHEUS Y GRAFANA

Con los nodos en operación, se procedió a configurar Prometheus para realizar la recolección periódica (*scraping)* de cada microcontrolador. En el archivo prometheus.yml, se definió un *job* independiente por sensor, especificando la dirección IP local y el puerto 80 como *target* con un intervalo de 15 segundos (Prometheus, 2026). Este intervalo resultó adecuado, considerando que el DHT22 tiene una frecuencia máxima de muestreo de 0.5 Hz (Aosong, s.f.). Grafana se instaló en el mismo servidor Debian donde se ejecutó Prometheus y se configuró como *data source.* Se implementó un tablero con paneles individuales por sensor que muestran las series temporales de temperatura y humedad en tiempo real, con líneas de umbral para la identificación visual de valores fuera de rango, como se aprecia en la Figura 4.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 117 - 126

Figura 4

Panel de monitoreo de temperatura y humedad relativa en tiempo real mediante Grafana



El tablero quedó accesible dentro de la red local y de forma remota mediante el comando /dashboard del bot, que genera un enlace temporal válido por 10 minutos a través de un *proxy* inverso implementado con AIOHTTP.

2.1.4 DESARROLLO DEL BOT DE TELEGRAM

El bot se desarrolló en Python 3.11 mediante la biblioteca python-telegram-bot en su versión 21.3 (Toledo, 2024), que opera de forma completamente asíncrona mediante asyncio (Python Software Foundation, 2001), lo que permite atender solicitudes concurrentes y ejecutar tareas en segundo plano sin bloquear el sistema. La arquitectura se organizó en cinco módulos con responsabilidades claramente definidas. El archivo configuracion.py centraliza las variables del sistema, incluyendo credenciales, direcciones IP, umbrales de alerta y parámetros de historial. El archivo cliente_prometheus.py abstrae la comunicación con la API HTTP de Prometheus mediante consultas PromQL instantáneas y de rango, e implementa un algoritmo de *forward-fill* para la imputación de datos faltantes en las series temporales, reemplazando los intervalos sin medición por el último valor conocido ante desconexiones transitorias. El módulo generador_reportes.py produce los archivos de salida: imágenes PNG con gráficas de tendencia generadas con matplotlib, reportes PDF estructurados por sensor construidos con Reportlab, y archivos CSV con los registros completos organizados en cinco columnas: identificador, tipo de valor, marca temporal, valor registrado y coordenadas de localización del sensor en el área. Finalmente, bot_telegram.py implementa la interfaz de usuario y servidor_dashboard.py despliega el servidor web asociado a Grafana.

El bot expone ocho comandos al operador, los cuales se detallan brevemente en la Tabla 3 y se muestra la interfaz de usuario del bot de Telegram en la Figura 5.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 118 - 126

Tabla 3

Lista de comandos del chatbot de Telegram y descripción de sus funciones

Comando	Descripción
`/status`	Devuelve las lecturas actuales de toda la red de sensores con un indicador visual del estado de cada uno.
`/png, /pdf, /csv`	Genera reportes en formato de imagen, pdf o un archivo separado por comas, iniciando un flujo de selección guiado por botones *inline* para elegir uno o todos los sensores y el periodo que se desea cubrir.
`/plan`	Envía el plano de distribución física de los sensores en el área.
`/dashboard`	Genera el enlace temporal al panel de Grafana.
`/alerts`	Activa o desactiva las notificaciones de alertas automáticas sin necesidad de reiniciar el servicio.
`/help`	Proporciona al operador los comandos disponibles con los que cuenta el chatbot.

Figura 5

Interfaz de usuario del bot de Telegram para el monitoreo y gestión de alertas de la red de sensores DHT22 con los microcontroladores NodeMCU V3 y ESP32-C3 SuperMini



Los comandos /png, /pdf y /csv implementan un flujo de selección guiado por botones *inline* de Telegram, donde el operador elige primero el sensor de interés y luego el periodo de tiempo deseado; el bot consulta dinámicamente a Prometheus para determinar cuánto historial real existe antes de mostrar las opciones disponibles, eliminando así la posibilidad de solicitar un reporte para un periodo sin datos. El comando /dashboard genera un enlace temporal con token de un solo uso, válido durante 10 minutos, que apunta a un servidor web embebido en el mismo proceso del bot; ese servidor actúa como *proxy* inverso hacia Grafana, lo que permite acceder al tablero desde fuera de la red local sin exponer la plataforma

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 119 - 126

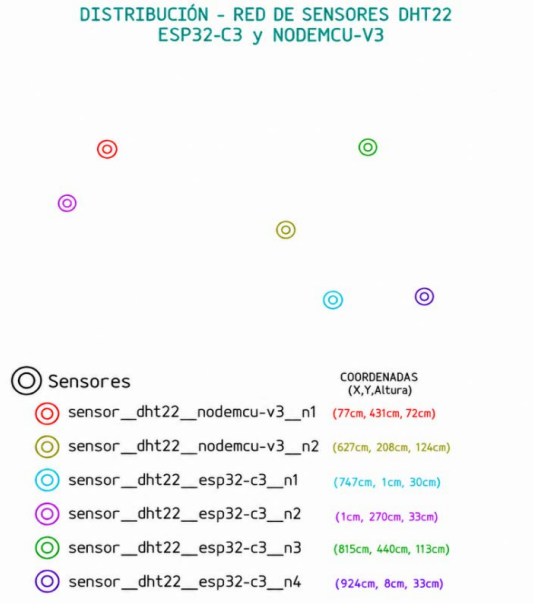
directamente a internet. Lozada Contreras y Bautista España (2024), en su trabajo sobre monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral, señalan que la disponibilidad de la interfaz de consulta desde dispositivos móviles es uno de los factores que mayor impacto tiene en la adopción del sistema por parte del personal operativo. El sistema de alertas se ejecuta como un *job* de APScheduler con una periodicidad de cinco minutos, comparando las lecturas actuales contra los umbrales configurados en el archivo de configuración. Ante valores fuera de límites, envía una notificación al grupo de Telegram con el identificador del sensor, el valor detectado y el umbral correspondiente. El bot se desplegó como servicio de systemd en el servidor Debian, garantizando su reinicio automático ante fallos y su arranque junto con el sistema operativo.

3. RESULTADOS

La red quedó conformada por seis nodos en operación: dos NodeMCU V3 y cuatro ESP32-C3 SuperMini, distribuidos en puntos estratégicos del área de pruebas según se muestra en la Figura 6. La asignación de coordenadas de ubicación a cada nodo en el archivo de configuración permitió relacionar directamente las lecturas obtenidas con las condiciones ambientales específicas de cada zona del área, facilitando la identificación de gradientes térmicos entre distintos puntos del recinto.

Figura 6

Distribución de la red de sensores DHT22 con los microcontroladores NodeMCU V3 y ESP32-C3 SuperMini en el área de pruebas



Durante el periodo de monitoreo comprendido entre febrero y mayo de 2026, los sensores registraron temperaturas entre 18°C y 25°C, así como humedades relativas entre 25 %RH y 60 %RH. Los valores de temperatura se mantuvieron dentro de los rangos recomendados para infraestructura de cómputo en todo momento (Grundy, 2005). La humedad relativa, en cambio, presentó mayor variabilidad y se

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 120 - 126

aproximó a los límites recomendados en ambos extremos, situación consistente con lo reportado por Vega Luna *et al.* (2020), quienes observaron variaciones similares en un centro de datos y las atribuyeron principalmente a la interacción entre los sistemas de climatización y la carga térmica variable de los equipos. En el contexto de este proyecto, los valores más bajos de humedad se registraron en los nodos ubicados en la zona con mayor densidad de equipos en operación continua, lo que sugiere una relación directa con la generación de calor localizado.

No se registraron alertas por temperatura máxima durante el periodo de operación. Sin embargo, se presentaron episodios aislados de humedad por encima del umbral máximo configurado en 60 %RH, por lo que dicho umbral fue ajustado a 65 %RH, manteniéndose dentro del límite superior recomendado. Esta capacidad de ajuste en tiempo de ejecución, sin necesidad de detener el servicio ni modificar el código, resultó ser una de las ventajas prácticas más relevantes de la arquitectura modular implementada. Lozada Contreras y Bautista España (2024) señalan que esta flexibilidad de configuración es precisamente uno de los atributos que distingue a los sistemas de bajo costo basados en *software* libre frente a las soluciones comerciales, las cuales suelen requerir un licenciamiento y la intervención técnica especializada para modificar parámetros operativos. Por ejemplo, un informe del Lawrence Berkeley National Laboratory (Herrlin y Cole, 2016) documenta soluciones de monitoreo ambiental con licencias de 3300 USD, esto sin contar con el costo de los dispositivos de monitoreo y sensores. Asimismo, algunas plataformas comerciales actuales manejan esquemas de suscripción basados en el número de nodos monitoreados; por ejemplo, Sunbird (2026) publica para la plataforma Power IQ un precio de 5.50 USD por nodos al mes, lo que equivale a 66 USD al año por nodo.

Por otra parte, el sistema de alertas respondió correctamente en todos los casos de prueba, enviando notificaciones al grupo de Telegram en un tiempo inferior a 5 minutos desde que los valores cruzaron los umbrales establecidos. Este tiempo de respuesta es inherente al intervalo de verificación configurado en APScheduler y no a la latencia de la red: una vez que el verificador detecta un valor fuera de rango, la notificación llega al operador en cuestión de segundos. Para aplicaciones que requieran alertas en tiempo real estricto, este punto sería el principal aspecto por mejorar mediante la integración del sistema de alertas nativo de Grafana, que puede disparar notificaciones en cuanto Prometheus registra un *scraping* con valores fuera de umbral. Además, la generación de reportes con historiales de larga duración tomó, en promedio, entre 3 y 8 segundos, tiempo que se consideró aceptable dada la cantidad de consultas simultáneas a Prometheus y la renderización de gráficas con varios cientos de puntos de datos por sensor (Matplotlib Development Team, 2026). El archivo CSV resultante, con registros organizados en cinco columnas incluyendo coordenadas de localización, resultó especialmente útil para el análisis posterior de los datos en herramientas como Excel o Python, ya que el formato de timestamp adoptado (YYYY-MM-DD HH:MM:SS) es reconocido automáticamente por la mayoría de las herramientas de análisis sin necesidad de configuración adicional. En términos generales, los resultados demostraron que la combinación de *hardware* accesible con herramientas de código abierto cubrió de manera efectiva los requisitos de monitoreo del área, a un costo de implementación estimado en menos del 5% de lo que representaría una solución comercial equivalente, sin depender de servicios externos ni de licencias.

3.1 PRUEBA EXPERIMENTAL

Se realizó una prueba para obtener resultados estadísticos de las mediciones en un periodo de dos semanas comprendido del 17 de abril al 1 de mayo del 2026. Cada medición se tomó en intervalos de 30 minutos obteniendo 673 datos por sensor. El archivo lo generó el bot en formato CSV, lo que facilita

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 121 - 126

su análisis en hojas de cálculo (Microsoft Excel, Google Sheet) o programas especializados en análisis de datos. La Tabla 4 presenta el análisis estadístico de las mediciones obtenidas durante el periodo de prueba.

Tabla 4

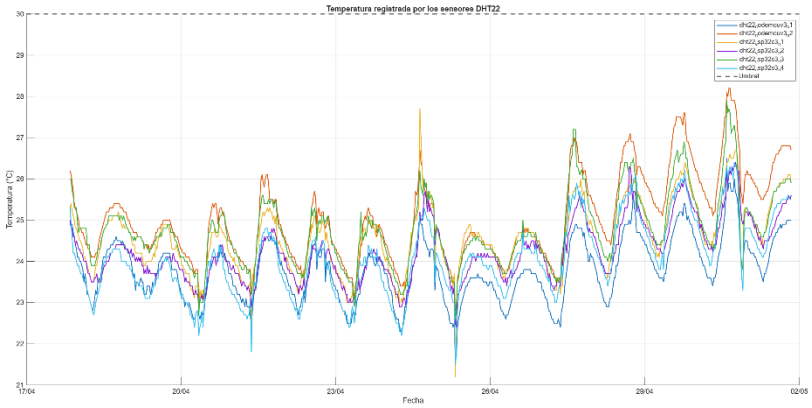
Análisis estadísticos de las muestras tomadas en dos semanas cada 30 minutos

Nodo	Temp. mín. [°C]	Temp. máx. [°C]	Temp. Media [°C]	Temp. Desviación estándar [°C]	HR mín. [%]	HR máx. [%]	HR media [%]	HR Desviación estándar [%]	Muestras
NodeMCU V3 N1	21.6	26.5	23.8	0.75	13.6	56	41.55	8.2	673
NodeMCU V3 N2	22.8	28.2	25.03	1.05	12.1	53.6	38.86	8.38	673
ESP32-C3 N1	21.2	27.7	24.56	0.83	14	56	40.41	8.33	673
ESP32-C3 N2	22.4	26.4	24.24	0.73	15.2	55.7	41.62	7.91	673
ESP32-C3 N3	22.6	27.9	24.75	0.87	12.9	54.6	40	8.13	673
ESP32-C3 N4	21.5	26.4	24.05	0.91	15.1	57	41	8.44	673

A continuación, se muestran las gráficas de temperatura en la Figura 7 y las gráficas de humedad en la Figura 8.

Figura 7

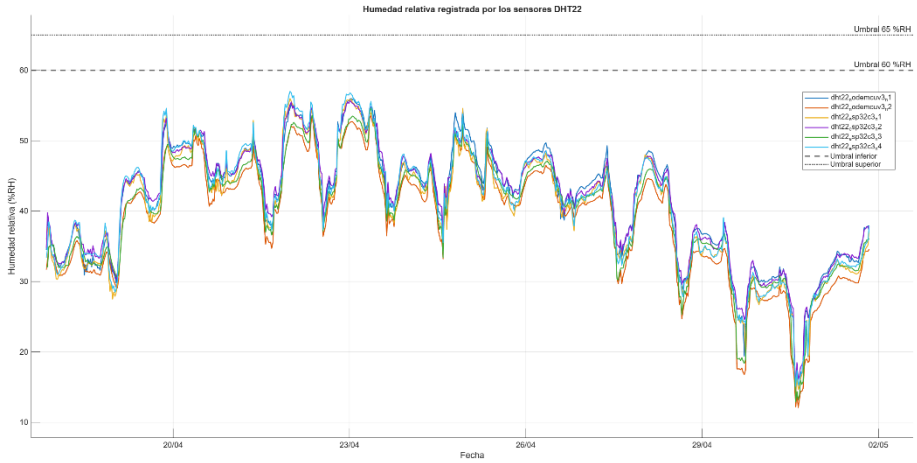
Comportamiento de la temperatura del 17 de abril al 1 de mayo de mayo del 2026



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 122 - 126

Figura 8

Comportamiento de la humedad relativa del 17 de abril al 1 de mayo



Como se puede observar, en ningún momento del periodo los parámetros superaron el umbral. Estas gráficas también fueron generadas a partir del archivo CSV, utilizando el programa Matlab.

3.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA

Aunque la red operó de manera estable durante el periodo de evaluación, el sistema presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, la comunicación entre nodos y el servidor depende de la disponibilidad de la red Wi-Fi. En caso de una pérdida temporal de conexión, el *firmware* intentará restablecer la conexión cada 20 segundos y, si no lo consigue, reinicia de manera automática el microcontrolador mediante la rutina ESP.restart(). Este mecanismo permite recuperar el funcionamiento de manera automática; sin embargo, durante el periodo de desconexión no se realizan nuevas mediciones, por lo que esos intervalos estarán sin datos.

En segundo lugar, el sistema fue instalado dentro de la cobertura inalámbrica disponible, por lo que no se realizó una caracterización de la distancia máxima de comunicación entre los nodos y el punto de acceso. El nodo más alejado se encuentra a seis metros del servidor, por lo que las pruebas realizadas no permiten establecer una distancia máxima de operación. Una ampliación de la red hacia otras áreas requeriría evaluar previamente la cobertura Wi-Fi y, en caso necesario, incorporar infraestructura adicional de comunicación.

En cuanto a los sensores, el DTH22 presenta una frecuencia máxima de 0.5 Hz, por lo que el *firmware* realiza una lectura cada tres segundos. Las lecturas no válidas son descartadas y el nodo devuelve temporalmente un código de error HTTP 503 hasta disponer de una medición válida, evitando valores nulos o potencialmente corruptos.

Por último, los sensores fueron verificados mediante la comparación de sus mediciones con las obtenidas por termohigrómetros comerciales, específicamente el Xiaomi Mi Temperature and Humidity Monitor y el HTC-2, obteniendo variaciones de apenas 0.4 °C y 4% en humedad relativa; no obstante, el sistema no

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 123 - 126

cuenta con un mecanismo de recalibración automática, por lo que cualquier ajuste se tiene debe realizar de manera manual en el *firmware*.

4. CONCLUSIONES

No contar con un sistema automatizado para el monitoreo continuo de temperatura y humedad relativa deja abierta la posibilidad de que condiciones críticas pasen desapercibidas fuera del horario laboral. Para atender esta situación, se diseñó e implementó una red de seis nodos distribuidos en puntos estratégicos de un área de prueba, integrada con una plataforma de almacenamiento y visualización de métricas, y un bot de Telegram como interfaz de operación.

Los resultados obtenidos mostraron que el sistema operó de manera estable durante el periodo de monitoreo, sin pérdidas significativas de datos en Prometheus y con tiempos de respuesta de alerta inferiores a cinco minutos en todos los casos de prueba. Los valores de temperatura se mantuvieron dentro de los rangos recomendados para infraestructura de cómputo, mientras que la humedad relativa presentó episodios que motivaron un ajuste de los umbrales de alerta, lo que evidenció la utilidad práctica de contar con parámetros modificables en tiempo de ejecución. Se construyó un sistema funcional, de bajo costo y operación autónoma, accesible desde cualquier dispositivo sin requerir *software* adicional.

Para consolidar y ampliar lo logrado, se recomienda extender la red a otras zonas del edificio mediante la incorporación de nuevos nodos, explorar el uso de las alertas nativas de Grafana como capa complementaria al sistema de notificaciones del bot, e incorporar sensores de CO_2 (Pino *et al.*, 2019) y presión diferencial (St. Hilaire, 2023) para obtener una caracterización ambiental más completa. Por otra parte, la arquitectura desarrollada es directamente reutilizable en otros contextos donde el control ambiental resulta igualmente crítico: el sector médico, con aplicaciones en incubadoras neonatales y almacenes de medicamentos (Aya-Parra *et al*., 2023); el sector agrícola, donde invernaderos y cuartos de germinación demandan condiciones estables que hoy dependen de equipos de mayor costo (Aguilar-González *et al*., 2023); y la industria alimentaria, en la que cámaras de maduración y almacenamiento en frío deben cumplir rangos precisos por normativa sanitaria (Rodríguez, 2007). En todos estos casos, adaptar el sistema implica únicamente ajustar los parámetros de configuración y redistribuir los nodos según la geometría del espacio a monitorear.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Departamento de Supercómputo de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindar el espacio, los recursos y las condiciones necesarias para el desarrollo de este proyecto. En especial, agradecemos a las personas académicas Alicia de la Mora Cebada, Eduardo Ortega Alarcón, Irving Álvarez Castillo, Silvia Frausto Del Río y Yolanda Flores Salgado por el apoyo brindado durante su realización. Asimismo, agradecemos a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este trabajo durante el periodo de servicio social, ya que su apoyo fue fundamental para llevar a cabo la implementación y puesta en operación del sistema.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 124 - 126

Declaración de contribución de autoría

Adrián Leonardo Rodríguez Pichardo: Especialista en ingeniería en computación. Rol dentro del proyecto: Desarrollador de *firmware* y *software* de monitoreo; responsable de la programación de los nodos sensores y del bot de Telegram, así como del diseño e integración de la arquitectura de monitoreo IoT y de la redacción y documentación técnica del reporte. Participó en el diseño, desarrollo e implementación de la red IoT para el monitoreo continuo de temperatura y humedad relativa en el área de Supercómputo. Dentro de sus actividades, se encargó de la programación del *firmware* de los nodos basados en NodeMCU V3 y ESP32-C3 SuperMini, integrando los sensores DHT22 y desarrollando los mecanismos de conexión inalámbrica, lectura periódica, exposición de métricas mediante HTTP y recuperación automática ante fallos de conectividad. Asimismo, desarrolló en Python el bot de Telegram, integrando la consulta de datos de Prometheus, la generación de reportes en formatos PNG, PDF y CSV, el envío de alertas y el acceso temporal al tablero de Grafana. También participó en el diseño de la arquitectura y distribución de los sensores, en la configuración e integración de los diferentes componentes del sistema y en las pruebas de funcionamiento. Finalmente, fue responsable de la redacción, estructuración y documentación técnica del reporte, integrando la metodología, el desarrollo, los resultados y las conclusiones obtenidas durante la implementación del proyecto.

José Alberto Aparicio Santos: Especialista en ingeniería en electrónica. Rol dentro del proyecto: Responsable del proyecto. Se encargó de la coordinación institucional y responsabilidad general del proyecto de servicio social, incluyendo definición de objetivos, así como la planificación de actividades y seguimiento de los avances. Realizó el diseño del esquema general del proyecto, la planificación de las etapas de trabajo, el planteamiento del problema, la definición de sus limitaciones, los alcances y resultados esperados. Identificó y seleccionó las variables de interés para el monitoreo. Realizó el estudio, evaluación y selección de los microcontroladores, sensores, componentes electrónicos y herramientas de *software* más adecuados para la implementación. Así mismo se encargó del diseño de la distribución de la red de sensores, acondicionamiento del equipo, distribución de sensores, realización de pruebas extensas y ajustes en el prototipo. Finalmente, contribuyó con la redacción, revisión y corrección de la documentación técnica y del informe final del proyecto.

Karla Fabiola Barajas Pérez: Especialista en tecnología de la información, tecnología educativa, sistemas inteligentes y ciencia de datos. Rol dentro del proyecto: Investigadora y coautora; responsable del control metodológico y científico del reporte. Se encargó del análisis y fortalecimiento de los contenidos del texto, así como de la formulación de propuestas para ampliar y mejorar el alcance del trabajo, y de contribuir a la mejora de su estructura, claridad y fundamentación, lo que aportó una perspectiva interdisciplinaria desde las áreas de tecnología de la información, investigación y sistemas inteligentes. Contribuyó al proceso de discusión y consolidación de los resultados, así como a la revisión de la versión final del reporte.

REFERENCIAS

Adafruit Industries. (2018). *Adafruit/dht-sensor-library* [C++]. Recuperado el 16 de abril de 2026, de https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library

Aguilar-González, R., Cárdenas-Juárez, M., Rodríguez-Ortiz, J. C., y Romero-Méndez, M. J. (2023). Monitoreo de temperatura mediante red de sensores para mejorar el uso del agua en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, *41*. https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1626

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 125 - 126

Aosong Guangzhou Electronics Co., Ltd. (s. f.). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module: AM2303* [ficha técnica]. https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf

Aosong Guangzhou Electronics Co., Ltd. (2017). *DHT11 digital temperature and humidity sensor* (Versión 1.3) [ficha técnica]. https://akizukidenshi.com/goodsaffix/DHT11_20180119.pdf

Aya-Parra, P. A., Rodríguez-Orjuela, A. J., Rodríguez Torres, V., Córdoba Hernández, N. P., Martínez Castellanos, N., y Sarmiento-Rojas, J. (2023). Monitoring system for operating variables in incubators in the neonatology service of a highly complex hospital through the internet of things (Iot). *Sensors, 23*(12), 5719. https://doi.org/10.3390/s23125719

Domínguez García, R. O., Zatarain Duran, O. A., De La Torre, M. Á., Díaz Vieyra, J. I., y Quijas Santos, D. de J. (2019). *El monitoreo de humedad y temperatura de un centro de datos*. LACCEI, Inc. http://axces.info/handle/10.18687/20190101_439

Dwyer Instruments. (s. f.). *Importancia de la medición de la humedad y la temperatura en los centros de datos*. https://www.processsensing.com/es-es/blog/data-center.htm

ESP8266 Community. (2014). *WiFiServer.h* [código fuente]. GitHub. Recuperado el 22 de abril de 2026, de https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/libraries/ESP8266WiFi/src/WiFiServer.h

ESP8266 Community. (s. f.). *ESP8266WiFi library. ESP8266 Arduino Core documentation*. https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html

Espressif Systems. (2014). *WiFi.h* [código fuente]. GitHub. Recuperado el 22 de abril de 2026, de https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/WiFi/src/WiFi.h

Espressif Systems. (2025). *ESP8266 Technical Reference (Versión 1.7)*. Recuperado el 14 de abril de 2026, de https://documentation.espressif.com/esp8266-technical_reference_en.pdf

Espressif Systems. (2026). *ESP32-C3 Series Datasheet (Versión 2.4)*. Recuperado el 13 de abril de 2026, de https://documentation.espressif.com/esp32-c3_datasheet_en.pdf

Grafana Labs. (s. f.). *Grafana OSS and Enterprise*. Grafana Labs. Recuperado el 15 de abril de 2026, de https://grafana.com/docs/grafana/latest/

Grokhotkov, I. (2014). *WebServer.h* [código fuente]. GitHub. https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/WebServer/src/WebServer.h

Grundy, R. (2005) *Temperatura y humedad recomendadas para el centro de datos: Prevención del costoso tiempo de inactividad causado por las condiciones ambientales*. AVTECH Software. https://es.avtech.com/articles/3647/recommended-data-center-temperature-humidity/

HandsOn Technology. (s.f.). *ESP8266 NodeMCU WiFi Development Board: User manual V1.3*. Recuperado el 13 de abril de 2026, de https://handsontec.com/dataspecs/module/esp8266-V13.pdf

Herrlin, M. K., y Cole, R. C. (2016). *Air management in small data centers* (LBNL-2001204). Lawrence Berkeley National Laboratory. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/pgande_final_report_2016_herrlin2001204.pdf

Jiménez-Morales, J. B., Suárez-Cansino, J., López-Morales, V., y Franco-Árcega, A. (2022). Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site. *Pädi Boletín Científico de Ciencias*

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.198 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 126 - 126

Básicas e Ingenierías del ICBI, 10(Especial 3), 112-119. https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial3.9006

Lozada Contreras, J. D., y Bautista España, A. D. (2024). Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral. *Revista Social Fronteriza*, *4*(1), e41117. https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(1)117

Matplotlib Development Team. (s. f.). *Matplotlib: Visualization with Python*. Recuperado el 16 de abril de 2026, de https://matplotlib.org/

Nagios Enterprises. (s. f.). *Nagios XI: Enterprise-grade network monitoring software.* Recuperado el 14 de abril de 2026, de https://www.nagios.com/products/nagios-xi/

Pino, H., Pastor, V., Grimalt-Álvaro, C., y López, V. (2019). Measuring CO2 with an arduino: Creating a low-cost, pocket-sized device with flexible applications that yields benefits for students and schools. *Journal of Chemical Education, 96*(2), 377-381. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00473

Prometheus. (s.f.). *Prometheus documentation overview*. Recuperado el 15 de abril de 2026, de https://prometheus.io/docs/introduction/overview/

Python Software Foundation. (2001). *asyncio—Asynchronous I/O*. Python 3.14.7 documentation. https://docs.python.org/3/library/asyncio.html

Rodríguez, H. (2007). Desarrollo de monitor de humedad relativa y temperatura. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (38), 20-24. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6108415

Rubio, J. de J., Hernández-Aguilar, J. A., Ávila-Camacho, F. J., Stein-Carrillo, J. M., y Meléndez-Ramírez, A. (2016). Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes neuronales. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, *17*(2), 211-222. https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.006

St. Hilaire, S. (2023). *Sensores de presión diferencial para aplicaciones de centros de datos*. Ashcroft. https://blog.ashcroft.com/es/differential-pressure-sensors-for-data-centers

Sunbird DCIM. (s.f.). *Power IQ DCIM Monitoring: Pricing*. Sunbird Software. https://www.sunbirddcim.com/pricing

Telegram. (s. f.). *Telegram Bot API*. Recuperado el 15 de abril de 2026, de https://core.telegram.org/bots/api

Toledo, L. (2024). *Bot—Python-telegram-bot v21.3*. Recuperado el 22 de abril de 2026, de https://docs.python-telegram-bot.org/en/v21.3/telegram.bot.html

Vallejo-Sanchez, D., Muñoz-García, A., Chaverra-Zuleta, E., Correa-Casas, J., Londoño, L. F., y Bustamante-Rúa, O. (2024). Desarrollo de una Arquitectura IoT para monitoreo ambiental: Integración de tecnologías de código abierto con proyección de aplicación en el sector minero. *DYNA, 91*(231), 163-168. https://doi.org/10.15446/dyna.v91n231.112093

Vega Luna, J. I., Sánchez-Rangel, F. J., Salgado-Guzmán, G., Cosme-Aceves, J. F., Tapia-Vargas, V. N., y Lagos-Acosta, M. A. (2020). Red de monitorización para automatizar el sistema de enfriamiento de un centro de datos. *Ingenius,* (24), 87-96. https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.09

Zabbix. (s. f.). *Zabbix: The enterprise-class open source observability solution.* Recuperado el 14 de abril de 2026, de https://www.zabbix.com/

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 127 - 140

Evaluación comparativa de herramientas de análisis de vulnerabilidades para escenarios de gestión de superficie de ataque

Comparative evaluation of vulnerability assessment tools for attack surface management scenarios

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Hernández Fuentes, F. A. (2026) Evaluación comparativa de herramientas de análisis de vulnerabilidades para escenarios de gestión de superficie de ataque. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC*, *4*(4), páginas (127 - 140).https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193

Félix Alejandro Hernández Fuentes
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
felixhdz@ciencias.unam.mx
ORCID: 0000-0002-4791-485X

Resumen

La identificación automatizada de vulnerabilidades requiere herramientas capaces de atender conjuntos amplios de objetivos sin comprometer el desempeño operativo. Con el propósito de determinar una alternativa adecuada para este escenario, se compararon cuatro herramientas de análisis de vulnerabilidades, considerando su capacidad de detección, tiempo de ejecución, automatización, escalabilidad y capacidad de integración. La evaluación se realizó mediante pruebas de tipo caja negra sobre objetivos de prueba, bajo condiciones homogéneas de análisis. Posteriormente, se realizaron pruebas de análisis masivo sobre un conjunto de servicios y aplicaciones vulnerables desplegados en un entorno controlado de laboratorio. Para ello, se utilizó la herramienta que presentó la mayor adecuación a los criterios establecidos y se implementó una arquitectura para procesar y visualizar los hallazgos de manera centralizada. El esquema incorporó mecanismos automatizados para validar los objetivos antes del análisis y generar alertas a partir de los hallazgos obtenidos. El desempeño durante las pruebas de análisis masivo se evaluó mediante indicadores relacionados con tiempo de ejecución y uso de recursos. Los resultados mostraron diferencias entre las herramientas evaluadas de acuerdo con su orientación y capacidades de análisis. Las herramientas enfocadas en infraestructura proporcionaron mayor visibilidad sobre servicios y configuraciones, mientras que las orientadas

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 128 - 140

a aplicaciones web identificaron vulnerabilidades específicas de estos entornos. La herramienta seleccionada permitió analizar 861 *hosts* virtuales del entorno de pruebas en aproximadamente 24 horas, con un consumo máximo de 2.5 GB de memoria y un uso promedio de CPU de 66%. Se concluyó que la arquitectura implementada presentó viabilidad técnica para apoyar el análisis masivo y el seguimiento de vulnerabilidades sobre conjuntos amplios de objetivos.

Palabras clave: Análisis masivo de vulnerabilidades, automatización de pruebas de seguridad, gestión centralizada de hallazgos de seguridad, seguridad ofensiva.

Abstract

Automated vulnerability identification requires tools capable of handling large sets of targets without compromising operational performance. To identify a suitable alternative for this scenario, four vulnerability assessment tools were compared considering their detection capabilities, execution time, automation, scalability, and integration capabilities. The evaluation was conducted through black-box assessments of test targets under homogeneous testing conditions. Subsequently, large-scale assessment tests were conducted on a set of vulnerable services and applications deployed in a controlled laboratory environment. The tool that showed the best fit with the established criteria was selected, and an architecture was implemented to centrally process and visualize the findings. The scheme incorporated automated mechanisms to validate targets before assessment and generate alerts based on the findings obtained. Performance during the large-scale assessment tests was evaluated using indicators related to execution time and resource consumption. The results showed differences among the evaluated tools according to their orientation and assessment capabilities. Infrastructure-focused tools provided greater visibility into services and configurations, whereas web application-focused tools identified vulnerabilities specific to these environments. The selected tool assessed 861 virtual hosts from the testing environment in approximately 24 hours, with a maximum memory consumption of 2.5 GB and an average processor utilization of 66%. It was concluded that the implemented architecture was technically feasible to support large-scale vulnerability assessment and vulnerability tracking across extensive sets of targets.

Keywords: *Large-scale vulnerability assessment, automated security testing, centralized security findings management, offensive security.*

1. INTRODUCCIÓN

La identificación automatizada de vulnerabilidades constituye un componente fundamental de las estrategias de ciberseguridad, ya que permite detectar configuraciones inseguras, servicios expuestos, componentes desactualizados y otras debilidades susceptibles de explotación. En este contexto, la gestión de superficie de ataque y el análisis automatizado de vulnerabilidades adquirieron relevancia como mecanismos para fortalecer la protección de objetivos accesibles desde Internet.

Diversos estudios señalaron que las organizaciones enfrentaron dificultades para mantener visibilidad sobre la totalidad de sus activos expuestos, favoreciendo riesgos relacionados con servicios olvidados, configuraciones débiles y vulnerabilidades explotables (Ragheb y Al-Omary, 2025). Asimismo, investigaciones recientes destacaron la importancia de automatizar procesos de monitoreo y correlación de hallazgos en infraestructuras de gran tamaño (Prathima *et al.*, 2025).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 129 - 140

En el ámbito de las aplicaciones web, distintos trabajos analizaron herramientas automatizadas de análisis de vulnerabilidades y pruebas de penetración. Algunas investigaciones evaluaron metodologías no intrusivas para el análisis de dominios a gran escala (Shaji y Subramanian, 2021). De manera similar, estudios comparativos concluyeron que ninguna herramienta cubría de forma integral todos los escenarios de análisis, debido a diferencias en cobertura, precisión, automatización y capacidad de integración (Albahar *et al.*, 2022; Altulaihan *et al.*, 2023).

También se documentaron propuestas basadas en múltiples motores de análisis y arquitecturas distribuidas para mejorar la cobertura de detección y la escalabilidad operativa (Abdulghaffar *et al.*, 2023; Izzat *et al.*, 2025). Particularmente, algunos enfoques recientes incorporaron herramientas basadas en Nuclei y plataformas centralizadas para apoyar procesos de monitoreo continuo y gestión de superficie de ataque (Prathima *et al.*, 2025).

En el contexto de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el fortalecimiento de la seguridad de los objetivos accesibles desde Internet requiere mecanismos que permitan identificar y dar seguimiento oportuno a las vulnerabilidades presentes en la infraestructura institucional. En este sentido, las actividades en la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación se orientan, entre otros aspectos, a fortalecer las capacidades institucionales para la identificación y atención de riesgos de seguridad. Como parte de este propósito, resultó de interés contar con mecanismos automatizados que pudieran apoyar a los responsables de tecnologías de información de las distintas entidades y dependencias universitarias en el conocimiento y seguimiento de las vulnerabilidades de los activos bajo su responsabilidad.

A principios de 2026, se determinó la realización de una evaluación comparativa de herramientas de análisis de vulnerabilidades con el propósito de identificar una alternativa adecuada para escenarios de análisis masivo y continuo. A partir de esta evaluación, se implementó una arquitectura orientada a apoyar la automatización de este proceso.

La arquitectura implementada permitió evaluar, en un entorno controlado, la viabilidad técnica de un esquema automatizado para analizar grandes conjuntos de objetivos, procesar los resultados y facilitar su visualización y seguimiento. Con base en esta evaluación, se identificó la posibilidad de una eventual adopción de un esquema de estas características por responsables de tecnologías de información de entidades y dependencias de la UNAM, como mecanismo de apoyo para conocer, monitorear y atender las vulnerabilidades identificadas en los objetivos bajo su responsabilidad.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar comparativamente herramientas de análisis de vulnerabilidades para identificar una alternativa técnicamente viable en escenarios de análisis masivo y continuo, así como implementar una arquitectura que facilitara la visualización y el seguimiento de los hallazgos de seguridad en un contexto institucional.

2. DESARROLLO TÉCNICO

Para la evaluación, se seleccionaron herramientas representativas de distintos enfoques de análisis de vulnerabilidades, considerando soluciones de código abierto y comerciales. OpenVAS y Nessus Essentials Plus se incluyeron como herramientas orientadas principalmente al análisis de infraestructura y servicios, así como por haber sido consideradas conjuntamente en evaluaciones comparativas previas (Wongsaard

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 130 - 140

et al., 2025). ZAP se seleccionó como herramienta especializada en aplicaciones web y por los resultados favorables reportados en estudios comparativos previos (Albahar *et al.*, 2022). Por su parte, Nuclei se incorporó por sus capacidades de automatización, ejecución concurrente y aplicación en escenarios de análisis escalable y gestión de superficie de ataque (Izzat *et al.*, 2025; Prathima *et al.*, 2025).

Tabla 1

Herramientas y tecnologías utilizadas

Tecnología	Función principal
OpenVAS	Análisis de vulnerabilidades de infraestructura y servicios
Nessus Essentials Plus	Análisis de vulnerabilidades de infraestructura y aplicaciones web
ZAP	Análisis de vulnerabilidades en aplicaciones web
Nuclei	Escaneo concurrente basado en plantillas
Elastic Stack	Procesamiento, centralización y visualización de hallazgos
Notify	Alertamiento en tiempo real
httpx-toolkit	Validación de objetivos activos

Una vez seleccionadas las herramientas, se realizó la evaluación comparativa. Posteriormente, se complementaron las pruebas con Nuclei mediante una arquitectura basada en Elastic Stack, integrada por Elasticsearch, Logstash y Kibana, con el objetivo de centralizar, procesar y visualizar los hallazgos generados durante los escaneos automatizados. Las principales herramientas y tecnologías utilizadas se resumen en la Tabla 1.

2.1 METODOLOGÍA

La metodología se diseñó bajo un enfoque comparativo orientado a evaluar herramientas de análisis de vulnerabilidades para escenarios de análisis masivo y gestión de superficie de ataque. La evaluación consideró cinco criterios: capacidad de detección, tiempo de ejecución, automatización, escalabilidad y capacidad de integración.

Las herramientas evaluadas presentan diferencias en su orientación y profundidad de análisis, por lo que la comparación no buscó considerarlas funcionalmente equivalentes. OpenVAS y Nessus se orientan principalmente al análisis de infraestructura y servicios, ZAP al análisis dinámico de aplicaciones web y Nuclei a la ejecución automatizada de comprobaciones basadas en plantillas.

La evaluación tuvo como propósito analizar estas diferencias frente a los requerimientos de un escenario de análisis masivo, considerando el equilibrio entre cobertura y profundidad, por una parte, y velocidad, automatización y escalabilidad, por otra.

El enfoque adoptado se sustentó en investigaciones relacionadas con la evaluación comparativa y selección de herramientas de seguridad, así como en propuestas recientes de gestión de superficie de ataque que incorporan procesos automatizados de validación de objetivos, análisis de vulnerabilidades y monitoreo continuo (Albahar *et al.*, 2022; Bhatt *et al.*, 2022; Prathima *et al.*, 2025).

El proceso se estructuró en cuatro etapas principales: diseño, configuración, instalación y pruebas. Durante la etapa de diseño, se definieron los criterios de comparación y su importancia relativa. Para

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 131 - 140

reducir la influencia de una priorización implícita de los criterios, se contó con la valoración de tres especialistas en seguridad de la información: uno con más de diez años de experiencia y dos con entre tres y cinco años. Cada especialista valoró la importancia de los cinco criterios mediante una escala de 1 a 5, donde 1 correspondió a una importancia muy baja y 5 a una importancia muy alta. Las valoraciones se promediaron y, posteriormente, se normalizaron respecto de la suma de los promedios para obtener el peso de cada criterio.

Los mismos especialistas valoraron, mediante una escala de 1 a 5, el desempeño de OpenVAS, Nessus Essentials Plus, ZAP y Nuclei respecto de capacidad de detección, automatización, escalabilidad y capacidad de integración. Para cada herramienta, se utilizó el promedio de las tres valoraciones. El tiempo de ejecución no se sometió a valoración experta, ya que se obtuvo directamente de las pruebas realizadas sobre los dos objetivos de prueba y se normalizó posteriormente a la misma escala. Las valoraciones individuales empleadas para obtener los pesos y las puntuaciones promedio se presentan en el Anexo A.

Los criterios, métricas y formas de medición utilizados en la evaluación comparativa se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Criterios y métricas de la evaluación comparativa

Criterio	Métrica	Forma de medición
Capacidad de detección	Puntuación de 1 a 5	Promedio de las valoraciones de los tres especialistas
Tiempo de ejecución	Tiempo promedio y puntuación normalizada de 1 a 5	Promedio de los tiempos registrados en los dos objetivos de prueba y normalización inversa
Automatización	Puntuación de 1 a 5	Promedio de las valoraciones de los tres especialistas
Escalabilidad	Puntuación de 1 a 5	Promedio de las valoraciones de los tres especialistas
Capacidad de integración	Puntuación de 1 a 5	Promedio de las valoraciones de los tres especialistas

En la etapa de configuración, se prepararon OpenVAS, Nessus Essentials Plus, ZAP y Nuclei para realizar evaluaciones externas de tipo caja negra. Las pruebas se efectuaron sin autenticación ni credenciales de acceso y sin conocimiento previo del código fuente de las aplicaciones. En el caso de Nuclei, se utilizó el conjunto completo de plantillas oficiales disponibles al momento de realizar las pruebas, sin seleccionar categorías o plantillas específicas.

Durante la etapa de instalación, se implementó una arquitectura basada en Elastic Stack para centralizar y visualizar los resultados generados durante las pruebas automatizadas realizadas con Nuclei. Asimismo, se integraron las herramientas httpx-toolkit para la validación de objetivos activos y Notify para el envío automatizado de alertas.

Las características del entorno utilizado para la ejecución de las pruebas se resumen en la Tabla 3.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 132 - 140

Tabla 3

Características del entorno de pruebas

Componente	Especificación
Tipo de entorno	Máquina virtual
Memoria RAM	24 GB
Procesador	6 núcleos virtuales (vCPU)
Almacenamiento	200 GB
Sistema operativo	Kali GNU/Linux Rolling 2026.1 (64 bits)
Virtualizador	VMware Workstation Pro 25H2u1 (25.0.1.25219725)

Se definieron dos grupos de pruebas. El primero correspondió a una evaluación comparativa en la que OpenVAS, Nessus Essentials Plus, ZAP y Nuclei se ejecutaron de manera independiente sobre los mismos objetivos de prueba, con el propósito de comparar los tipos de hallazgos identificados, su clasificación de severidad y los tiempos de ejecución.

Para incorporar el tiempo de ejecución a la matriz de evaluación, se calculó para cada herramienta el promedio de los tiempos registrados en los dos objetivos de prueba. Debido a que un menor tiempo representa un mejor desempeño para este criterio, los valores obtenidos se normalizaron en una escala de 1 a 5 mediante la siguiente expresión:

$$s_j = 1 + 4 \cdot \left(\frac{t_{máx} - t_j}{t_{máx} - t_{mín}} \right),$$

donde s_j representa la puntuación normalizada de la herramienta *j*, t_j su tiempo promedio de ejecución, y $t_{mín}$ y $t_{máx}$ los menores y mayores tiempos promedio observados, respectivamente.

La puntuación final de cada herramienta se obtuvo mediante una suma ponderada de los cinco criterios:

$$P_j = \sum_{i=1}^{5} \omega_i s_{ij},$$

donde P_j corresponde a la puntuación final de la herramienta *j*, w_i al peso normalizado del criterio *i* y s_{ij} a la puntuación de la herramienta *j* en dicho criterio. Los resultados de esta evaluación se presentan en la sección de Resultados.

El segundo grupo correspondió a las pruebas de análisis masivo con Nuclei. Para estas pruebas, se utilizó un conjunto de *hosts* virtuales correspondientes a servicios y aplicaciones vulnerables desplegados en un entorno controlado de laboratorio, considerando cada *host* virtual como un objetivo independiente de análisis. Nuclei fue seleccionado para esta etapa a partir de los resultados de la evaluación comparativa y de la matriz ponderada, en la que obtuvo la mayor puntuación para los criterios y prioridades del escenario considerado. Las pruebas tuvieron como propósito evaluar su comportamiento ante un conjunto amplio de objetivos y determinar una configuración adecuada para su ejecución automatizada.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 133 - 140

Durante las pruebas con Nuclei, se modificaron los parámetros relacionados con concurrencia y velocidad de ejecución para observar su efecto sobre el tiempo de análisis y los servicios evaluados.

Tabla 4

Parámetros de las pruebas con Nuclei

Prueba	-rl	-bs	-c	Objetivo	Resultado
Mayor carga	450	50	50	Evaluar el comportamiento de Nuclei al incrementar la velocidad y concurrencia del análisis	Se observó degradación en el desempeño de algunos servicios
Configuración final	150	25	25	Mantener un equilibrio entre velocidad de análisis y estabilidad de los servicios	Configuración utilizada para la prueba de análisis masivo

Nota. -rl establece el límite de solicitudes por segundo; -bs, el tamaño del lote de *hosts* procesados; y -c, el nivel de concurrencia de plantillas.

Las configuraciones con mayor concurrencia redujeron los tiempos de ejecución, pero provocaron degradación del desempeño de algunos servicios del entorno de pruebas. Por esta razón, se seleccionó una configuración orientada a mantener un equilibrio entre velocidad de análisis y estabilidad de los servicios. Los parámetros evaluados y la configuración utilizada para la prueba de análisis masivo se presentan en la Tabla 4.

3. RESULTADOS

Las pruebas comparativas permitieron identificar diferencias entre las herramientas evaluadas en términos de cobertura, especialización y tiempo de ejecución. Los resultados cuantitativos obtenidos sobre los dos objetivos de prueba se presentan en la Tabla 5, considerando el número de hallazgos por nivel de severidad y el tiempo requerido por cada herramienta.

Tabla 5

Resultados cuantitativos de la evaluación comparativa

Objetivo	Herramienta	Medio	Bajo	Informativo	Total	Tiempo de ejecución
Objetivo de prueba A	OpenVAS	2	1	28	31	26 min
	Nessus Essentials Plus	1	0	24	25	27 min
	ZAP	8	5	10	23	15 min

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 134 - 140

Objetivo	Herramienta	Medio	Bajo	Informativo	Total	Tiempo de ejecución
Objetivo de prueba B	Nuclei	0	0	23	23	3 min
	OpenVAS	1	2	30	33	25 min
	Nessus Essentials Plus	1	0	18	19	26 min
	ZAP	5	4	7	16	1h 8 min
	Nuclei	0	1	20	21	3 min

Nota. No se identificaron hallazgos clasificados con severidad crítica o alta en los objetivos evaluados. El total corresponde a la suma de los hallazgos de severidad media, baja e informativa reportados por cada herramienta. Los niveles de severidad corresponden a la clasificación proporcionada por cada herramienta.

OpenVAS identificó principalmente configuraciones inseguras relacionadas con protocolos, servicios, cabeceras HTTP y configuraciones SSL/TLS. Aunque permitió detectar exposiciones relevantes, su capacidad para identificar vulnerabilidades propias de aplicaciones web resultó limitada.

Nessus Essentials Plus presentó resultados similares respecto a configuraciones inseguras y exposición de servicios. Aunque generó reportes estructurados y fáciles de interpretar, las restricciones de licenciamiento representaron una limitación para escenarios de análisis masivo.

ZAP mostró mejores capacidades para identificar vulnerabilidades específicas de aplicaciones web, incluyendo configuraciones inseguras relacionadas con Content Security Policy, *clickjacking* y atributos de seguridad en *cookies*. Asimismo, presentó una mayor proporción de hallazgos de severidad media que las demás herramientas evaluadas.

Nuclei presentó los menores tiempos de ejecución en ambos objetivos de prueba, aunque sus hallazgos correspondieron principalmente a severidad informativa.

A partir de las valoraciones de los tres especialistas, los pesos obtenidos para los criterios de capacidad de detección, tiempo de ejecución, automatización, escalabilidad y capacidad de integración fueron 22.73%, 19.70%, 19.70%, 19.70% y 18.18%, respectivamente. La Tabla 6 presenta las puntuaciones promedio obtenidas por cada herramienta y el resultado de aplicar la suma ponderada.

Tabla 6

Matriz de evaluación ponderada de las herramientas

Herramienta	Detección (22.73%)	Tiempo (19.70%)	Automatización (19.70%)	Escalabilidad (19.70%)	Integración (18.18%)	Puntuación final
OpenVAS	3.67	2.66	3.67	3.67	3.67	3.47
Nessus Essentials Plus	4.67	2.56	4.00	3.00	4.33	3.73
ZAP	4.00	1.00	4.67	3.00	4.67	3.46
Nuclei	4.33	5.00	5.00	5.00	4.67	4.79

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 135 - 140

Nota. Las puntuaciones de capacidad de detección, automatización, escalabilidad y capacidad de integración corresponden al promedio de las valoraciones de los tres especialistas. La puntuación del tiempo de ejecución se obtuvo mediante la normalización de los tiempos promedio registrados experimentalmente en los dos objetivos de prueba.

Nuclei obtuvo la mayor puntuación ponderada (4.79), seguido por Nessus Essentials Plus (3.73), OpenVAS (3.47) y ZAP (3.46). Este resultado sustentó la selección de Nuclei para la etapa de análisis masivo, de acuerdo con los criterios y prioridades establecidos para el escenario considerado. La puntuación obtenida no implica una mayor profundidad de análisis respecto de las demás herramientas, sino una mayor adecuación al conjunto de criterios ponderados para este escenario.

Los resultados también mostraron que las herramientas pueden desempeñar funciones complementarias de acuerdo con el escenario de análisis. OpenVAS y Nessus Essentials Plus resultaron adecuados para obtener mayor visibilidad sobre infraestructura, servicios y configuraciones, mientras que ZAP mostró mayor orientación hacia la identificación de vulnerabilidades específicas de aplicaciones web. Nuclei presentó ventajas para escenarios que requieren automatización, ejecución concurrente y análisis de conjuntos amplios de objetivos; sin embargo, su enfoque basado en plantillas condiciona la detección a las comprobaciones disponibles y no proporciona la misma profundidad de análisis que herramientas especializadas en determinados escenarios. Por ello, su selección para el análisis masivo no sustituye el uso de herramientas orientadas al análisis de infraestructura o al análisis dinámico de aplicaciones web cuando se requiere una evaluación con mayor profundidad.

Durante las pruebas de análisis masivo, se evaluaron 861 *hosts* virtuales como objetivos independientes. A partir del tiempo total de ejecución, se obtuvo un tiempo promedio aproximado de 1 minuto y 42 segundos por *host*. Los principales indicadores de desempeño se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Indicadores operativos del análisis masivo realizado con Nuclei

Indicador	Valor
Hosts virtuales evaluados	861
Tiempo total de ejecución	24 h 18 min 55 s
Uso promedio de CPU	66%
Consumo máximo de memoria RAM	2.5 GB
Hallazgos identificados	21 280

La Tabla 8 muestra la distribución porcentual de los hallazgos identificados durante los escaneos según su nivel de severidad. Debido al predominio de los hallazgos informativos, que representan el 96.56% del total, la Figura 1 presenta la distribución porcentual por nivel de severidad, excluyendo los hallazgos informativos, con el propósito de facilitar la comparación visual entre los niveles de severidad restantes.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 136 - 140

Tabla 8

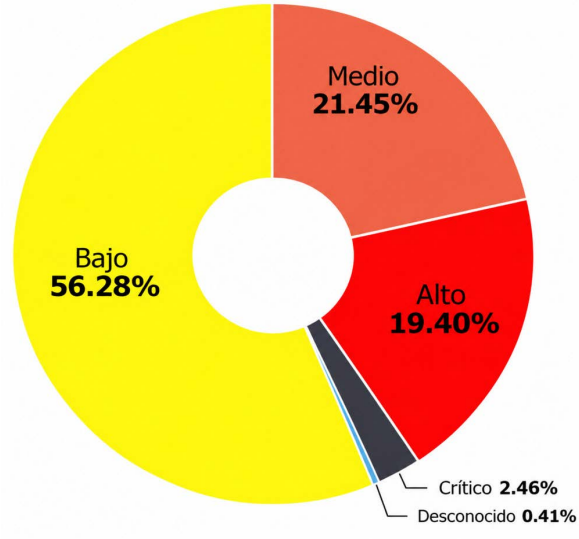
Distribución general de hallazgos identificados con Nuclei

Severidad	Porcentaje
Informativo	96.56%
Bajo	1.94%
Medio	0.74%
Alto	0.67%
Crítico	0.08%
Desconocido	0.01%

Los hallazgos identificados incluyeron tecnologías vulnerables, configuraciones inseguras, exposición de servicios y detecciones asociadas con identificadores CVE. Asimismo, la salida estructurada en formato JSON Lines facilitó la integración y el procesamiento centralizado de los resultados mediante Elastic Stack, permitiendo una organización de acuerdo con criterios como su severidad y la priorización de su seguimiento.

Figura 1

Distribución porcentual de hallazgos por nivel de severidad, excluyendo los informativos



En términos generales, los resultados mostraron que ninguna herramienta cubrió por sí sola todos los escenarios de evaluación considerados, debido a las diferencias observadas en cobertura, especialización y desempeño operativo. Sin embargo, para el escenario de análisis masivo considerado en este trabajo, Nuclei obtuvo la mayor puntuación en la evaluación ponderada. Estos resultados coincidieron con investigaciones recientes que destacaron la utilidad de motores ligeros y automatizados para el análisis masivo de vulnerabilidades y la gestión de superficie de ataque en infraestructuras complejas (Prathima *et al.*, 2025; Izzat *et al.*, 2025).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 137 - 140

4. CONCLUSIONES

El estudio comparativo permitió identificar diferencias relevantes entre las herramientas evaluadas en términos de capacidad de detección, tiempo de ejecución, automatización, escalabilidad y capacidad de integración. Los resultados mostraron que, para el escenario de análisis masivo considerado, la selección de una herramienta debía contemplar conjuntamente estos criterios, así como las diferencias en la orientación y profundidad de análisis de cada solución.

Nuclei obtuvo la mayor puntuación en la matriz de evaluación ponderada, lo que sustentó su selección para las pruebas de análisis masivo. Durante éstas, fue posible evaluar 861 *hosts* virtuales como objetivos independientes en aproximadamente 24 horas, con un consumo máximo de 2.5 GB de memoria RAM y un uso promedio de CPU cercano al 66%. Esta selección respondió a los criterios y prioridades establecidos para el escenario de análisis masivo y no implica una mayor profundidad respecto a las demás herramientas evaluadas.

Los resultados también evidenciaron el carácter complementario de las herramientas evaluadas, cuyas diferencias de especialización y profundidad de análisis permiten atender distintos requerimientos de seguridad.

La arquitectura basada en Nuclei y Elastic Stack permitió centralizar, procesar y visualizar los resultados obtenidos mediante análisis automatizados, así como organizar y priorizar los hallazgos para facilitar su seguimiento. Además, incorporó mecanismos para la validación de objetivos y el envío de alertas. Con ello, se demostró en el entorno de pruebas la viabilidad técnica de un esquema orientado al monitoreo y seguimiento de vulnerabilidades sobre conjuntos amplios de objetivos.

A partir de los resultados obtenidos, se identificó la posibilidad de que una arquitectura de estas características pueda ser adoptada posteriormente por responsables de tecnologías de información de facultades y dependencias de la UNAM, como mecanismo de apoyo para conocer, monitorear y atender las vulnerabilidades presentes en sus respectivos activos. Esta posible adopción contribuiría al fortalecimiento de las capacidades institucionales de seguimiento de riesgos de seguridad, como complemento de las actividades de evaluación y acompañamiento realizadas por la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación.

La extensión de este esquema a otras entidades universitarias constituye una línea de trabajo posterior, cuya implementación y evaluación deberán determinarse de acuerdo con las necesidades y condiciones particulares de cada dependencia.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos R. Tlahuel Pérez por proponer la iniciativa que motivó el desarrollo de este proyecto y por sus valiosas observaciones durante la revisión inicial del manuscrito; a Angie Aguilar Domínguez, Esther Lugo Rojas y Luis Ledezma Molina por su colaboración en la valoración de la importancia de los criterios de comparación y del desempeño de las herramientas; y al resto de la Coordinación de Seguridad de la Información de la DGTIC por su compañerismo, disposición para colaborar y compromiso con el fortalecimiento de la seguridad de la infraestructura tecnológica de la Universidad. Asimismo, se agradece a las personas revisoras por sus comentarios y sugerencias que contribuyeron significativamente a

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 138 - 140

mejorar la calidad del reporte técnico, así como al Equipo Editorial de CTUD por su apoyo durante este proceso.

REFERENCIAS

Abdulghaffar, K., Elmrabit, N., y Yousefi, M. (2023). Enhancing web application security through automated penetration testing with multiple vulnerability scanners. *Computers, 12*(11), 235. https://doi.org/10.3390/computers12110235

Albahar, M., Alansari, D., y Jurcut, A. (2022). An empirical comparison of pen-testing tools for detecting web app vulnerabilities. *Electronics, 11*(19), 2991. https://doi.org/10.3390/electronics11192991

Altulaihan, E. A., Alismail, A., y Frikha, M. (2023). A survey on web application penetration testing. *Electronics, 12*(5), 1229. https://doi.org/10.3390/electronics12051229

Bhatt, N., Kaur, J., Anand, A., y Alhazmi, O. H. (2022). Selecting best software vulnerability scanner using intuitionistic fuzzy set TOPSIS. *Computers, Materials & Continua, 72*(2), 3613–3629. https://doi.org/10.32604/cmc.2022.026554

Izzat, M., Saputra, F. A., y Syarif, I. (2025). Design and implementation of distributed web application vulnerability assessment tools for securing complex microservices environment. *International Journal of Safety and Security Engineering, 15*(2), 267–273. https://doi.org/10.18280/ijsse.150207

Prathima, C., Vamshi, R., Kartheek, J., Kavya, P., Naveed, S., y Lahari, T. (2025, 6-8 de marzo). A novel approach to security-driven web application protection through Attack Surface Management [ponencia]. *2025 7th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*, Solan, India. https://doi.org/10.1109/ISPCC66872.2025.11039514

Ragheb, M. S., y Al-Omary, A. (2025, 17-19 de noviembre). The hacker view: Significance of external attack surface management to organizations [ponencia]. *2025 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, Sakhir, Baréin. https://doi.org/10.1109/3ict68299.2025.11442109

Shaji, E., y Subramanian, N. (2021, 30-31 de julio). Assessing non-intrusive vulnerability scanning methodologies for detecting web application vulnerabilities on large scale [ponencia]. *2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, Puducherry, India. https://doi.org/10.1109/ICSCAN53069.2021.9526423

Wongsaard, P., Thaenkaew, P., y Suksomboon, K. (2025, 17-19 de septiembre). Enabling cost-effective vulnerability scanning with OpenVAS: A nested virtualization approach for understaffed security teams [ponencia]. *2025 6th Asia Service Sciences and Software Engineering Conference (ASSE 2025)*, Tokio, Japón. https://doi.org/10.1145/3775030.3775037

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 139 - 140

ANEXO A. VALORACIONES EMPLEADAS EN LA MATRIZ DE EVALUACIÓN PONDERADA

Las siguientes tablas presentan las valoraciones individuales proporcionadas por los tres especialistas para determinar la importancia relativa de los criterios y evaluar las herramientas. Se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 representa el nivel más bajo y 5 el más alto.

Tabla 9

Valoración de la importancia de los criterios

Especialista	Experiencia	Detección	Tiempo	Automatización	Escalabilidad	Integración
E1	>10 años	5	4	5	5	4
E2	3-5 años	5	4	4	4	4
E3	3-5 años	5	5	4	4	4
Promedio	-	**5.00**	**4.33**	**4.33**	**4.33**	**4.00**
Peso normalizado	-	**22.73%**	**19.70%**	**19.70%**	**19.70%**	**18.18%**

Tabla 10

Valoración de las herramientas

Especialista	Herramienta	Detección	Automatización	Escalabilidad	Integración
E1 (>10 años)	OpenVAS	5	4	4	4
	Nessus Essentials Plus	5	4	3	5
	ZAP	4	5	4	5
	Nuclei	5	5	5	5
E2 (3–5 años)	OpenVAS	3	3	3	3
	Nessus Essentials Plus	4	4	3	4
	ZAP	4	4	3	4
	Nuclei	4	5	5	5
E3 (3–5 años)	OpenVAS	3	4	4	4
	Nessus Essentials Plus	5	4	3	4
	ZAP	4	5	2	5
	Nuclei	4	5	5	4

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.193 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 140 - 140

Especialista	Herramienta	Detección	Automatización	Escalabilidad	Integración
Promedio	OpenVAS	3.67	3.67	3.67	3.67
Promedio	Nessus Essentials Plus	4.67	4.00	3.00	4.33
Promedio	ZAP	4.00	4.67	3.00	4.67
Promedio	Nuclei	4.33	5.00	5.00	4.67

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 141 - 152

Invisibilidad analítica: un marco diagnóstico para brechas de trazabilidad en arquitecturas de medición web

Analytical invisibility: a diagnostic framework for traceability gaps in web measurement architectures

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Alavez Barrita, C. E. (2026). Invisibilidad analítica: un marco diagnóstico para brechas de trazabilidad en arquitecturas de medición web. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (141 - 152). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212

Cristhian Eder Alavez Barrita
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
calavez@comunidad.unam.mx
ORCID: 0009-0003-7408-2432

Resumen

A partir del caso de un portal universitario en el que no se registraban las descargas de un documento digital, se conceptualizó el término "invisibilidad analítica": interacciones que ocurren dentro de un ambiente web, pero que no alcanzan una representación analítica identificable debido a una ruptura en la cadena técnica que las convierte en registros observables.

Metodológicamente, se realizó un análisis en tres dimensiones: cobertura nativa de la herramienta de medición, estructura del elemento interactivo en el Modelo de Objetos del Documento e información disponible en la capa de instrumentación y eventos. Se identificaron brechas de cobertura automática, baja especificidad estructural del elemento de descarga y captura incompleta de variables de clic, lo cual configura una ruptura en la cadena de representación analítica —la secuencia técnica que convierte una interacción del usuario en un dato observable y accionable—.

Los resultados mostraron que la ausencia de registro no obedece a una falla técnica aislada, sino a una desarticulación entre diseño de interfaz, modelo de eventos y arquitectura de medición. Aunque el presente reporte técnico se basó en un caso único, el marco diagnóstico propuesto es transferible a otros ambientes con estructuras de desarrollo similares.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 142 - 152

Se concluyó que la trazabilidad es una construcción técnica y de gobernanza analítica que exige, por un lado, decisiones de diseño explícitas —definición de eventos institucionales e incorporación de identificadores únicos en elementos— y, por otro, condiciones organizacionales: auditoría de componentes dinámicos y participación temprana de equipos de analítica en el ciclo de desarrollo.

Palabras clave: Gobernanza analítica, Google Analytics 4, Google Tag Manager, seguimiento de descargas, trazabilidad web.

Abstract

Based on the case of a university portal in which downloads of a digital document were not recorded, the term "analytical invisibility" was conceptualized as follows: interactions that occur within a web environment but fail to achieve an identifiable analytical representation due to a break in the technical chain that transforms them into observable records.

Methodologically, the analysis was conducted across three dimensions: the native coverage of the measurement tool, the structure of the interactive element in the Document Object Model, and the information available in the instrumentation and event layer. Gaps were identified in automatic coverage, insufficient structural specificity of the download element, and incomplete capture of click variables. Together, these factors constitute a break in the analytical representation chain—the technical sequence that transforms a user interaction into observable and actionable data.

The findings showed that the absence of recorded downloads did not result from an isolated technical failure, but rather from a misalignment among interface design, the event model, and the measurement architecture. Although the technical report was based on a single case, the proposed diagnostic framework is transferable to other environments with similar development structures.

It was concluded that traceability is a technical and analytical-governance construct that requires, on the one hand, explicit design decisions—such as defining institutionally relevant events and incorporating unique identifiers into elements—and, on the other hand, organizational conditions, including the auditing of dynamic components and the early involvement of analytics teams in the development lifecycle.

Keywords: *Analytics governance, Google Analytics 4, Google Tag Manager, download tracking, web traceability.*

1. INTRODUCCIÓN

La analítica digital ha evolucionado desde modelos basados en sesiones —páginas vistas, sesiones, rutas de navegación— hacia esquemas de medición basados en eventos —clics, descargas, reproducciones, envíos de formularios, entre otros— (Alowaish, 2020; McGuirk, 2023). Este cambio responde al incremento en la complejidad de las aplicaciones web; en particular, las arquitecturas dinámicas, los sitios web tipo *Single Page Application* (SPA) —sitios que actualizan su contenido sin recargar la página— y el uso generalizado de constructores visuales en la gestión de contenidos, añaden condiciones adicionales para su identificación mediante mecanismos de instrumentación (Flanagan, 2020).

La transición encontró un punto de consolidación en Google Analytics 4 (GA4), cuya arquitectura eliminó la distinción entre tipos de interacción y estableció al evento como unidad fundamental de medición, cuyo antecedente inmediato fue la propuesta App + Web presentada por Google en 2019 (Ketchum,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 143 - 152

2019; McGuirk, 2023). Este cambio implicó que toda interacción relevante debía ser conceptualizada y representada explícitamente dentro de un esquema parametrizado. Si bien la dependencia de una implementación coherente ya existía en el modelo basado en sesiones —especialmente en la medición personalizada con GTM—, GA4 la profundiza y la vuelve estructural, porque el evento pasa a ser la unidad fundamental y toda interacción relevante debe representarse explícitamente en un esquema parametrizado.

Cuando estas capas no se encuentran articuladas, puede producirse lo que en este reporte técnico se denomina invisibilidad analítica (para mayor información sobre el posicionamiento conceptual de este término, consultar el Anexo A del reporte): la condición en la que una interacción que ocurre dentro de un ambiente web instrumentado no alcanza una representación analítica identificable debido a una ruptura o desarticulación entre las estructuras de la interfaz, el modelo de eventos y los mecanismos de medición, de manera que la interacción permanece ausente de los indicadores, los informes o los procesos de toma de decisiones basados en datos.

Este fenómeno expone a las instituciones a riesgos de subregistro y ambigüedad semántica de la información, situación que compromete la confiabilidad de los indicadores institucionales y la calidad de las decisiones estratégicas. Estas brechas adquieren particular relevancia en contextos universitarios, donde múltiples servicios académicos, administrativos e institucionales dependen de interfaces web cuya interacción puede requerir medición y seguimiento.

El presente reporte técnico surgió de un caso concreto que ilustra esta problemática: en el año 2026, ante la solicitud formal del número de descargas de un material digital alojado en un portal universitario desarrollado mediante el gestor de contenidos WordPress (es importante resaltar que el hallazgo se puede dar en cualquier otro gestor, inclusive en repositorios o sitios web hechos a la medida), la revisión de los informes estándar de la plataforma analítica no arrojó registros. Este hallazgo no se explicó por una indisponibilidad de la infraestructura de medición, sino por la ausencia de una instrumentación explícita que articulara el diseño del elemento con el modelo de eventos de la plataforma de medición. El caso resaltó la suposición recurrente —y técnicamente infundada— de que toda interacción del usuario genera automáticamente un registro.

Asimismo, reveló que el diagnóstico de estos vacíos requiere ir más allá de la verificación de la operatividad del sistema: es indispensable determinar qué eventos se decide registrar, bajo qué condiciones se activa cada registro, qué elementos quedan sistemáticamente fuera del alcance por decisiones u omisiones de diseño, y qué información debe estar disponible para que una interacción pueda ser identificada y caracterizada dentro de la arquitectura de medición.

El objetivo del proyecto fue analizar las causas que afectaban el registro de descargas de un portal universitario mediante la metodología propuesta, haciendo uso de la cobertura de la herramienta de medición, estructura del Modelo de Objetos del Documento y la capa de instrumentación y eventos, pues dicha situación impactaba en la representación analítica de los datos.

Este reporte técnico responde a la necesidad de sistematizar procedimientos que permitan identificar y evitar las causas estructurales de la ausencia de registros en arquitecturas basadas en GA4. El texto no busca sólo una corrección instrumental, el interés radica en comprender la trazabilidad no como una característica automática de la herramienta analítica, sino como una construcción técnica que requiere decisiones de diseño y gobernanza dentro de la arquitectura web.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 144 - 152

2. DESARROLLO TÉCNICO

2.1 METODOLOGÍA

El enfoque metodológico se fundamentó en la premisa de que la medición analítica opera mediante capas interdependientes —la estructura del Modelo de Objetos del Documento (DOM, por sus siglas en inglés), el modelo de eventos e instrumentación y el procesamiento de la herramienta analítica—, por lo que el análisis de cada dimensión permitió localizar el punto de ruptura en la cadena de representación analítica. El trabajo no se limitó a constatar la ausencia del registro, sino que examinó la consistencia entre la interacción del usuario, su representación en el modelo de eventos del navegador y su procesamiento final por la plataforma de medición, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Cada etapa de la metodología examina una capa distinta de la arquitectura de medición



Se llevaron a cabo tres etapas, cada una examinó una capa distinta de la arquitectura de medición, de modo que la ausencia de registro pudiera atribuirse con precisión a la capa donde se produjo la ruptura.

2.2 REVISIÓN DE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN

La primera etapa consistió en examinar la cobertura nativa de medición disponible en GA4, con el objetivo de determinar si la interacción bajo análisis se encontraba contemplada dentro de los mecanismos automáticos de recolección de datos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 145 - 152

Se verificó la habilitación de la funcionalidad de Medición Mejorada (*Enhanced Measurement*), un conjunto de detectores automáticos de eventos que opera directamente sobre la etiqueta de GA4 —sin necesidad de configuración adicional en Google Tag Manager (GTM)— y que reconoce patrones estructurales del documento y comportamientos de navegación predefinidos (Google Analytics, s. f.).

Posteriormente, se analizaron tanto los informes estándar como las exploraciones avanzadas para identificar la posible existencia del evento bajo su denominación directa o mediante registros funcionalmente equivalentes. La Figura 2 sintetiza los eventos nativos relevantes y su criterio de cobertura.

Figura 2

Eventos nativos de GA4 y condiciones de activación

Evento nativo GA4	Interacción cubierta	Condición de activación
click (clic de salida)	Interacciones que redirigen a un dominio distinto	El elemento debe contener un atributo href válido que apunte a un dominio externo reconocible
file_download	Descarga de archivos con extensiones monitoreadas	La interacción debe corresponder a una extensión reconocida por el detector automático
scroll	Profundidad de desplazamiento al 90% del contenido visible	Se limita a medición de profundidad general, no a elementos específicos
view_search_results	Resultados de búsqueda interna	La URL debe contener parámetros de consulta identificables por el sistema

Este análisis permitió evaluar el alcance de la medición automática en relación con el caso específico del portal universitario.

2.3 ANÁLISIS DE DOM

La segunda etapa consistió en el análisis del elemento interactivo dentro del DOM, con la finalidad de evaluar la trazabilidad de la interacción a partir de sus atributos estructurales y su estabilidad dentro de la arquitectura del documento.

Se analizaron atributos como id, class, href y data-*, dado que la estabilidad y especificidad de dichos identificadores determinan la capacidad de los sistemas de medición para reconocer cada elemento de forma confiable. En particular, se evaluó la presencia o ausencia de cada atributo, su unicidad dentro del documento, el grado en que permiten construir selectores diferenciados frente a otros elementos generados por el mismo constructor visual, así como su capacidad para funcionar como identificadores semánticos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 146 - 152

2.4 INSPECCIÓN DE LA CAPA DE INSTRUMENTACIÓN Y EVENTOS

La tercera etapa abordó la dimensión intermedia entre la interacción en la interfaz y la plataforma analítica: la capa de instrumentación y eventos gestionada mediante Google Tag Manager (GTM). La inspección se realizó con la herramienta Tag Assistant en modo de depuración, lo que permitió observar en tiempo real el evento generado durante el clic y los valores de las variables disponibles para caracterizar la interacción.

Este ambiente posibilitó observar directamente el evento gtm.click asociado a la interacción y revisar variables como: Click Classes, Click URL, Click ID, Click Text y Click Target, con la finalidad de determinar qué información del elemento interactivo era expuesta a la capa de datos y qué tan viable era caracterizar la interacción —dotarla de atributos suficientes para reconocerla— como un evento de descarga dentro de la arquitectura de medición.

3. RESULTADOS

3.1 COBERTURA AUTOMÁTICA Y LÍMITES DE LA MEDICIÓN NATIVA

La verificación inicial (GA4) confirmó que la funcionalidad de Medición Mejorada se encontraba habilitada en la propiedad analizada. Sin embargo, el evento bajo estudio no apareció en los informes estándar ni en las exploraciones avanzadas, ni bajo su denominación directa ni mediante registros funcionalmente equivalentes.

El análisis de los criterios que activan los detectores automáticos reveló que la interacción evaluada no cumplía con los patrones reconocidos por el sistema (Google Analytics, s. f.): clic de salida identificable, descarga de extensión monitoreada, profundidad de desplazamiento del 90% o consulta interna detectable por parámetros de URL.

Este hallazgo indicó que la ausencia del evento no se debe a errores de visualización o filtrado, sino a una limitación inherente de la cobertura automática. La medición nativa opera bajo supuestos específicos; toda interacción que no coincida con los patrones queda fuera del modelo de representación predeterminado. La dependencia exclusiva de este mecanismo puede, por tanto, producir invisibilidad analítica sobre interacciones relevantes del usuario.

La ausencia del evento es, en este punto, una primera ruptura de la cadena de representación: la interacción real no coincide con ninguno de los patrones que la herramienta utiliza para generar automáticamente una representación analítica.

3.2 CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL DOM Y TRAZABILIDAD

La inspección del DOM reveló que el enlace de descarga corresponde a un elemento <a> anidado dentro de un componente de tipo *slider* generado por el constructor visual del sitio, ver Figura 3.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 147 - 152

Figura 3

HTML específico del elemento



```
<div class="et_pb_slide et_pb_slide_12 et_clickable
      et_pb_bg_layout_dark et_pb_media_alignment_center" data-slide-id="et_pb_slide_12">
    <div class="et_pb_container clearfix">
        <div class="et_pb_slider_container_inner">
            <div class="et_pb_slide_description">
                <h2 class="et_pb_slide_title">
                    <a href="https://[redacted].unam.mx/sdc_download/26504/">
                        [redacted]
                    </a>
                </h2>
                <div class="et_pb_slide_content">
                    <p style="text-align: center;">
                        Descarga gratis [redacted]
                    </p>
                </div>
            </div>
        </div>
    </div>
</div>
```

Esta revisión permitió identificar tres factores estructurales que pueden explicar la ausencia de registro:

En primer lugar, el atributo href no apunta a un archivo con extensión reconocible, sino a una ruta dinámica del servidor (/sdc_download/26504/) con un parámetro de consulta (?key=). Al no contener extensión de archivo, el detector automático file_download de GA4 no reconoce la interacción como una descarga y, por esto, no la registra (Google Analytics, s. f.).

En segundo lugar, el elemento <a> carece de atributo id, lo que imposibilita su identificación mediante la variable Click ID de GTM; las únicas referencias disponibles son las clases heredadas del componente y la propia URL dinámica.

En tercer lugar, el contenedor padre incluye la clase et_pb_clickable y el evento de clic es identificado a nivel del envolvente en lugar del <a> que contiene el enlace. Este comportamiento reduce la información disponible para caracterizar directamente el elemento accionado. Estas condiciones reducen la estabilidad del elemento como objeto trazable dentro del modelo de eventos del navegador y favorecen la invisibilidad analítica. La trazabilidad no es independiente del diseño del *frontend*: elementos sin identificadores persistentes o con baja especificidad estructural limitan su potencial de caracterización analítica. Esto muestra la necesidad de integrar criterios de medición desde etapas tempranas del diseño de la interfaz.

3.3 CAPTURA INCOMPLETA EN LA CAPA DE INSTRUMENTACIÓN Y EVENTOS

La inspección mediante Tag Assistant confirmó que GTM registró un evento gtm.click durante la interacción, lo que permite descartar una falla del sistema de medición. No obstante, el evento se asoció al

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 148 - 152

 contenedor del componente (clase “et_pb_slide_description”) y no al elemento <a> que contiene el enlace de descarga. Como resultado, las variables de clic directamente vinculadas a la identificación de la interacción —Click URL, Click ID, Click Text y Click Target— devolvieron valores vacíos o indefinidos al no exponerse ni la URL ni el texto del enlace. En el modo de depuración de Tag Assistant, se observó el evento gtm.click y se extrajeron los valores de cada variable de clic disponible en ese momento. La Figura 4 sintetiza esos valores, obtenidos directamente de la consola de depuración durante la interacción.

Figura 4

Variables de clic registradas en el modo de depuración de GTM durante la interacción con el slider. Síntesis de los valores observados en la capa de datos

Variable	Valor registrado	Interpretación
_event	"gtm.click"	GTM capturó un clic
Click Classes	"et_pb_slide_description"	El clic se registró sobre el contenedor, no sobre el <a>
Click ID	" "	Sin identificador único en el elemento
Click URL	" "	La URL del enlace no fue capturada
Click Text	undefined	El texto del enlace no fue capturado
Click Target	" "	Sin atributo target en el elemento

Los valores de la Figura 3 corroboran los factores estructurales identificados previamente: GTM capturó el evento en el envolvente —no en el <a>—, por lo que ninguna variable expuso la URL de descarga. Sin esa información, resulta imposible identificar la interacción como un evento de descarga mediante los mecanismos automáticos de GA4 o mediante reglas de activación basadas en Click URL. Éste es el mecanismo concreto que produjo la invisibilidad analítica en este caso: no la ausencia de un evento en el sistema, sino la insuficiencia de la información asociada a ese evento para que la plataforma pueda identificarlo y clasificarlo.

La invisibilidad analítica se manifiesta no necesariamente como ausencia absoluta de señal, sino como incapacidad de transformar una señal parcial en una representación analítica suficientemente específica.

Es importante señalar que esta limitación no es puramente técnica, sino que frecuentemente deriva del desconocimiento de las estructuras de medición por parte de los equipos de desarrollo. Por ello, resulta relevante visibilizar las diferencias entre lo que ofrece la medición automatizada frente a la medición personalizada, pues sólo el conocimiento de estos parámetros permite transformar las señales parciales en datos accionables.

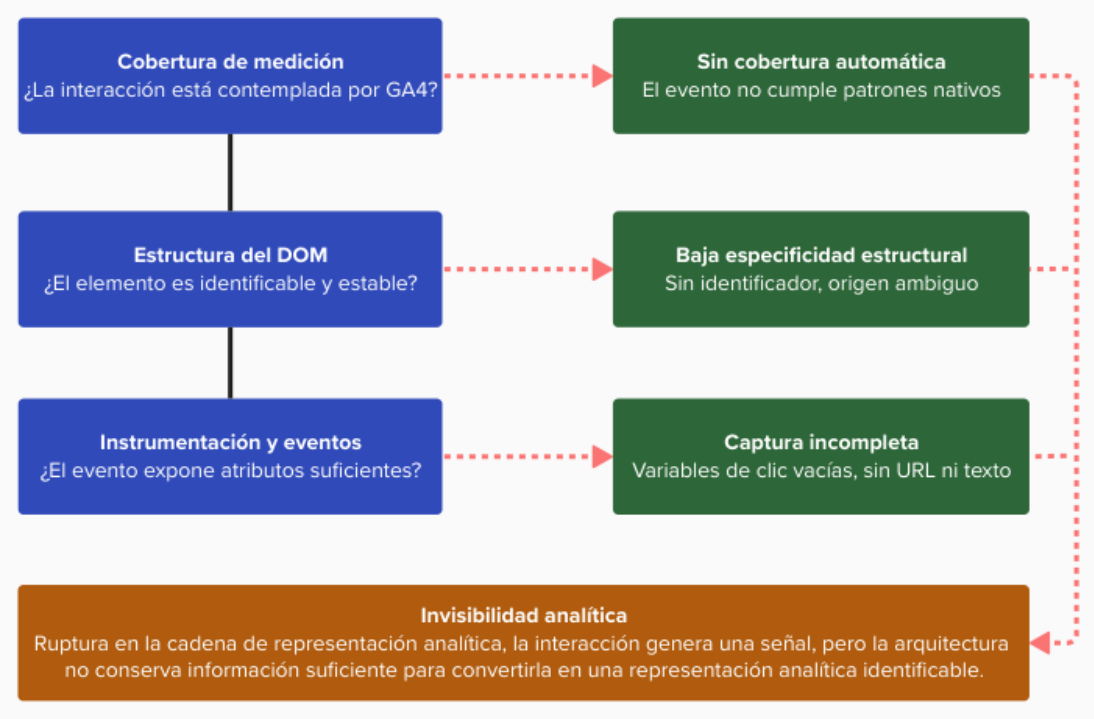
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 149 - 152

3.4 CONFIGURACIÓN DE LA INVISIBILIDAD ANALÍTICA

Los resultados del análisis de las etapas se integran en la Figura 5. En la capa de cobertura, GA4 no contempló la interacción, porque la ruta dinámica de descarga no cumplía los patrones de detección automática.

Figura 5

Esquema de la metodología



Nota. Cada etapa examinó una capa distinta de la arquitectura de medición; los hallazgos convergieron en la configuración que produjo invisibilidad analítica

En la capa del DOM, el elemento presentó baja especificidad estructural: carecía de identificador propio, estaba anidado en un componente generado por el constructor visual y el clic fue interceptado por el contenedor. En la capa de instrumentación, se registró un evento gtm.click, pero sus variables de clic quedaron vacías, sin URL ni texto del enlace.

4. CONCLUSIONES

El análisis permitió localizar la ruptura en la cadena de trazabilidad en tres niveles simultáneos: el evento no estaba contemplado en los patrones de medición nativa de GA4; el elemento presentaba baja especificidad estructural en el DOM —sin atributo id y con propagación de eventos interceptada por el contenedor del constructor visual—; y la señal capturada por GTM carecía de atributos suficientes para representar la interacción como una descarga. La causa de la invisibilidad analítica no se explica, por

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 150 - 152

tanto, por una única falla instrumental, sino por una desarticulación entre las capas que intervienen en la cadena de representación: la estructura del *frontend* y del DOM, el modelo de eventos e instrumentación y la arquitectura de medición. La interacción ocurrió y generó una señal de clic, pero dicha señal no conservó información suficiente para representarla como la descarga que se pretendía medir.

Estos resultados sugieren que la trazabilidad digital no es una propiedad inherente a la interacción, sino una construcción técnica —y de gobernanza— que depende de decisiones de diseño, configuración y alineación entre las distintas capas de la arquitectura web y de medición. Cuando estas dimensiones no se encuentran articuladas, se generan zonas de invisibilidad que afectan la representación del comportamiento y la confiabilidad de los indicadores.

En el caso específico analizado, la solución inmediata consistió en implementar un disparador personalizado en GTM. Sin embargo, la estabilidad y consistencia de la medición a largo plazo requieren acciones estructurales: incorporar identificadores únicos en elementos interactivos críticos, auditar los componentes dinámicos generados por constructores visuales y promover la participación temprana del equipo de analítica junto con desarrollo y experiencia de usuario desde las fases iniciales de cada proyecto.

REFERENCIAS

Alowaish, M. (2020). Using event-based models for cross-device insights into the user journey. *Applied Marketing Analytics: The Peer-Reviewed Journal, 6*(1), 6–12. https://doi.org/10.69554/PKGW5919

Flanagan, D. (2020). *JavaScript: The definitive guide* (7ª ed.). O'Reilly Media.

Google Analytics. (s. f.). *Eventos de medición mejorada*. Ayuda de Google Analytics. https://support.google.com/analytics/answer/9216061

Google Tag Manager. (s. f.). *Variables integradas para contenedores web.* Ayuda de Google Tag Manager. https://support.google.com/tagmanager/answer/7182738

Ketchum, R. (2019, 31 de julio). *A new way to unify app and website measurement in Google Analytics*. Google. https://blog.google/products/marketingplatform/analytics/new-way-unify-app-and-website-measurement-google-analytics/

Little, R. J. A., y Rubin, D. B. (2019). *Statistical analysis with missing data* (3ª ed.). John Wiley & Sons.

McGuirk, M. (2023). Performing web analytics with Google Analytics 4: a platform review. *Journal of Marketing Analytics, 11*(4), 854–868. https://doi.org/10.1057/s41270-023-00244-4

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 151 - 152

ANEXO A. POSICIONAMIENTO CONCEPTUAL: INVISIBILIDAD ANALÍTICA FRENTE A CONCEPTOS RELACIONADOS

La medición digital permite registrar interacciones mediante eventos y parámetros que representan comportamientos específicos del usuario. En arquitecturas como Google Analytics 4, el evento constituye una unidad fundamental de medición (Alowaish, 2020; Ketchum, 2019; McGuirk, 2023). En este contexto, una interacción puede ocurrir efectivamente y no producir la representación analítica esperada.

Como se estableció en la Introducción, este reporte técnico entiende la invisibilidad analítica como la condición en la que una interacción real, ocurrida dentro de un ambiente web instrumentado, no alcanza una representación analítica identificable. Cabe precisar que la invisibilidad no implica necesariamente ausencia absoluta de señal: puede existir un evento parcial de interacción sin que estén disponibles los atributos necesarios para caracterizarlo —por ejemplo, un clic genérico sin información de archivo, componente o contexto—. A partir de esta definición, resulta necesario diferenciar el concepto de otras categorías con las que podría confundirse.

Dicho concepto se diferencia del *dark funnel*, término que refiere a interacciones que ocurren fuera de las superficies que las herramientas convencionales pueden observar, como determinados canales privados o comunidades cerradas. En ese caso, la limitación se origina en la inaccesibilidad del canal; en la invisibilidad analítica, la interacción sí ocurre dentro del ambiente, el problema se produce en su representación (Alowaish, 2020).

También se diferencia de *signal loss*, término utilizado para describir la pérdida o reducción de señales asociada con restricciones de privacidad, cambios tecnológicos y disponibilidad de identificadores. Mientras que estas condiciones pueden afectar la transmisión o disponibilidad de una señal aun cuando la instrumentación esté correctamente diseñada, la invisibilidad analítica estudiada aquí se origina en la propia articulación de la arquitectura de medición.

La distinción también resulta necesaria frente a *missing data*. La literatura estadística utiliza este concepto para estudiar valores ausentes dentro de conjuntos de datos ya constituidos (Little y Rubin, 2019). La invisibilidad analítica se sitúa en una etapa anterior: describe el proceso por el cual una interacción no llega a convertirse en un registro analítico identificable. Por ello, no constituye simplemente un caso de dato faltante, sino una condición de la cadena de captura y representación.

Finalmente, el *data thresholding* de Google Analytics ocurre en una etapa diferente: los umbrales pueden limitar la información que se muestra en determinados informes para proteger la privacidad, aunque los datos hayan sido previamente recopilados (Google Analytics, s. f.). En cambio, en la invisibilidad analítica, la ruptura ocurre antes de que la interacción alcance una representación analítica adecuada.

Esta desarticulación entre interfaz, DOM e instrumentación no es abstracta: depende directamente de la información que la instrumentación logra extraer de la estructura de la interfaz. Google Analytics establece condiciones específicas para la detección automática de eventos como file_download, mientras que Google Tag Manager obtiene información del elemento DOM mediante variables de clic como Click URL, Click ID y Click Text (Google Analytics, s. f.; Google Tag Manager, s. f.). Cuando esa información estructural es insuficiente, el evento esperado no se genera —o se genera de forma incompleta— aunque la interacción haya ocurrido efectivamente. Por tanto, la ausencia del evento esperado no implica

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.212 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 152 - 152

necesariamente que la interacción no haya ocurrido: puede reflejar una insuficiencia en la información estructural disponible para representarla.

La especificidad de la invisibilidad analítica, frente a los conceptos anteriores, radica en que el fenómeno puede originarse en decisiones de diseño e instrumentación de la interfaz —y no exclusivamente en limitaciones externas del canal o en procesos posteriores de análisis—. Esto tiene una implicación metodológica directa: mientras que *dark funnel*, *signal loss* y *data thresholding* remiten a soluciones fuera del control del equipo de instrumentación (acceso al canal, cambios regulatorios o de plataforma, políticas de privacidad), como autor del reporte puedo compartir que de acuerdo a mi experiencia, la invisibilidad analítica es un problema corregible mediante el rediseño de la instrumentación y de los atributos capturados en el DOM.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 153 - 169

Análisis para la migración de datos de Microsoft Excel a una base de datos relacional mediante Drupal

Analysis for migrating data from Microsoft Excel to a relational database using Drupal

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Valadez Cedillo, C. (2026). Análisis para la migración de datos de Microsoft Excel a una base de datos relacional mediante Drupal. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (153 - 169). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192

Carlos Valadez Cedillo
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
carval@unam.mx
ORCID: 0009-0008-2264-7450

Resumen

Como parte del desarrollo de un proyecto universitario, se tomó la decisión de migrar los datos de un archivo de Excel, que almacenaba más de 1,200 filas, a una base de datos relacional con una mayor integridad y precisión de la información. Para llevar a cabo el proceso, se estableció como requerimiento deseable que la nueva base de datos relacional pudiera actualizarse a partir de archivos de Excel por personal sin conocimientos técnicos.

Se decidió también utilizar el Sistema de Gestión de Contenidos Drupal 11 para el desarrollo, ya que ofrecía la posibilidad de gestionar una base de datos de manera tradicional, así como importar datos desde archivos de Excel a través de módulos especializados.

Se evaluaron una API y tres módulos de contribución: la API de Migración de Drupal (Migrate API) y los módulos Migrate Spreadsheet, Excel Importer y Feeds. Después de examinar estas opciones para la migración de datos, se optó por el módulo Feeds, ya que resultó ideal para realizar migraciones periódicas de manera sencilla y eficiente.

Palabras clave: Automatización de carga, migración de base de datos, procesamiento de archivos CSV, reestructuración en Drupal.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 154 - 169

Abstract

As part of a university project, the decision was made to migrate data from an Excel file containing over 1,200 rows to a relational database to improve data integrity and accuracy. To carry out the process, it was established as a desirable requirement that the new relational database should continue to be updated using Excel files by staff without technical expertise.

It was also decided to use the Drupal 11 Content Management System for the development, as it offered the option of managing a database in the traditional way, as well as the ability to import data from Excel via specialized modules.

One API and three contribution modules were evaluated: the Drupal Migration API (Migrate API) and the Migrate Spreadsheet, Excel Importer and Feeds modules.

After assessing these various specialized modules for data migration, the Feeds module was chosen, as it proved to be ideal for carrying out regular migrations simply and efficiently.

Keywords: *Load automation, database migration, CSV file processing, data restructuring in Drupal.*

1. INTRODUCCIÓN

En contextos universitarios, la gestión de información suele comenzar con el uso de herramientas de propósito general que permitan organizar y consultar datos. Entre estas herramientas, las hojas de cálculo ocupan un lugar privilegiado cuando se trabaja con conjuntos pequeños de datos. No obstante, conforme crece el volumen y la complejidad de la información, comienzan a surgir dificultades relacionadas con la capacidad de procesamiento y la integridad de los datos. En este sentido, Carrara señala:

> Las hojas de cálculo, como Excel, han sido ampliamente utilizadas para almacenar y manipular datos en diversas disciplinas debido a su facilidad de uso y versatilidad. Sin embargo, a medida que las cantidades de datos aumentan, las hojas de cálculo pueden volverse limitadas en términos de escalabilidad, rendimiento y seguridad (Carrara, 2023, p.4).

Aun así, sigue siendo una herramienta ampliamente utilizada en entornos universitarios para la gestión de catálogos, inventarios o registros administrativos. En muchos casos, se convierte en la principal fuente de información estructurada. Salazar *et al.* (2025) mencionan que "aunque se han desarrollado sistemas más avanzados, Excel sigue siendo una herramienta clave por su accesibilidad y bajo costo" (p. 4).

Sin embargo, Excel presenta limitaciones cuando se utiliza para gestionar grandes volúmenes de datos, específicamente en operaciones que requieren realizar consultas personalizadas para filtrar, ordenar y agrupar información de manera eficiente. Estas tareas pueden realizarse de forma más adecuada mediante un sistema de gestión de bases de datos relacionales, el cual proporciona herramientas para crear, administrar y consultar bases de datos, facilita el almacenamiento y recuperación de la información de forma eficiente y contribuye a preservar su seguridad e integridad (Rodríguez, 2021).

El proyecto universitario sobre el que trata el presente reporte técnico se desarrolló en 2025 para el Programa Universitario de Estudios de la Diversidad Cultural y la Interculturalidad (PUIC) de la UNAM, con el objetivo de llevar a la web algunos de los estudios e investigaciones que ha realizado. Parte del

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 155 - 169

desarrollo requirió la integración en el sistema de aproximadamente 1,200 registros de publicaciones, cada uno con catorce columnas, almacenados en una hoja de cálculo de Excel.

Dado que la estructura de datos de este archivo limitaba considerablemente el manejo, integridad y análisis de datos, se identificó la necesidad de migrar los datos hacia una base de datos relacional, siguiendo los criterios planteados por Rodríguez Hernández (2021), mencionados más arriba.

Una migración puede describirse de la siguiente manera: "En general se visualiza el proceso de migración como una actividad que debe transformar y transportar datos desde un origen estable hacia un destino también estable" (Serra, 2018, p.71).

El objetivo del proyecto fue identificar el procedimiento más adecuado para realizar la migración segura y confiable de un conjunto datos de Excel a una base de datos relacional, considerando que esta última debía permitir actualizaciones de información a partir de archivos de Excel, de forma sencilla y periódica por personal sin conocimiento técnico.

2. DESARROLLO TÉCNICO

Para esta parte del desarrollo del proyecto, fue necesario determinar la solución más adecuada para una entidad de la UNAM, donde las actualizaciones de la base de datos iban a recaer en editores sin conocimientos técnicos y desarrollar un procedimiento sencillo y, sobre todo, confiable.

La información que el PUIC almacenaba en el archivo de Excel era introducida por diferentes personas, siempre como texto plano, sin importar si los campos correspondían a fechas, URL de catálogos electrónicos, autores, títulos, etc. Esto comenzó a generar diversos problemas, como datos corruptos debido a la falta de tipos de datos estrictos, filas con datos duplicados, la falta de un registro de los cambios realizados y una mayor lentitud en las búsquedas.

2.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sitio web, se consideraron varias tecnologías de Sistema de Gestión de Contenidos (CSM, por sus siglas en inglés): WordPress, Drupal y Strapi. El proceso de análisis y valoración de las opciones se resume en el Anexo A.

Se decidió desarrollar el sitio web empleando el CMS Drupal 11, fundamentado en sus estrictos estándares de seguridad institucional y su escalabilidad. Ofrece diferentes opciones para la migración de datos desde archivos de Excel. Además, su arquitectura modela los datos en campos independientes y reutilizables, lo que resulta en una flexibilidad total sobre cómo se almacena la información (Digital-IB, 2026). Esto permite integrar cada una de las filas de información del archivo de Excel en una entidad de Drupal de manera precisa y fácil de reproducir una vez configurado el sistema.

En lo referente a la migración de los datos desde Excel, de acuerdo a Carballo Muñoz *et al*., (2023) la migración de datos se compone de las siguientes etapas:

- Identificación de los datos que se requieren y su fuente de origen.
- Mapeo de campos entre las fuentes de origen y destino.
- Depuración de datos en las fuentes de origen.

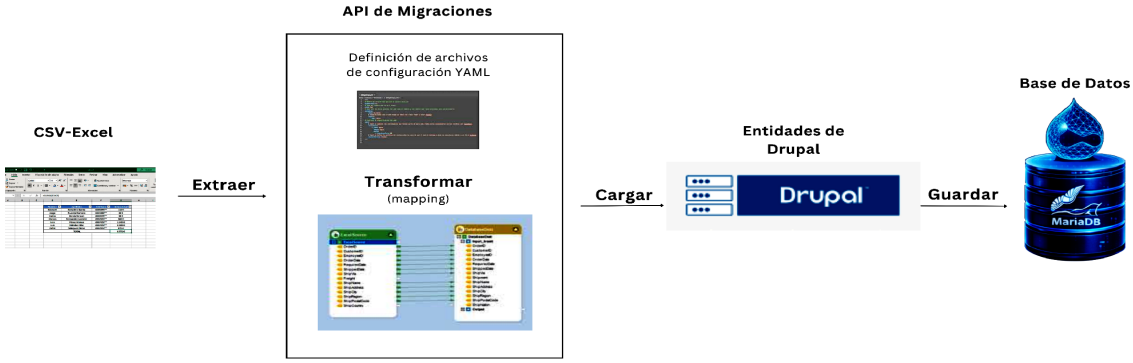
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 156 - 169

- Construcción de extractores, transformadores y cargadores de datos.
- Pruebas funcionales de migración.
- Simulación de cargas.
- Migración real de datos.
- Revisión de resultados.

Drupal abarca etapas similares en el proceso que se muestra en la Figura 1. Cabe aclarar que parte de este proceso se realiza de forma automática por diferentes módulos o APIs y la dificultad reside en cómo se configuran éstos.

Figura 1

Proceso de migración de datos a partir de un archivo de Excel hacia una base de datos de Drupal



Se extrae información directamente del archivo de Excel o, alternativamente, de un archivo convertido a un formato CSV (*Comma-Separated Values*); después, se mapean los campos, es decir, se relacionan las columnas del archivo de Excel con los campos de un tipo de contenido creado en Drupal; posteriormente, se cargan o transfieren los datos de cada fila del archivo a entidades de Drupal; finalmente, se almacenan las nuevas entidades creadas en la base de datos.

Con el fin de desarrollar un procedimiento adecuado de migración, se instalaron y evaluaron en Drupal las siguientes opciones:

I. La API de Migración de Drupal (Migrate API). Se emplea sobre todo para migraciones de una sola vez de grandes volúmenes de datos. Aunque podía leer los datos directamente del archivo de Excel, se decidió convertir a un archivo con formato CSV para facilitar su lectura. Fue necesario definir el origen, el proceso y el destino de los datos, utilizando archivos de configuración en formato YAML y líneas de comandos en Drush (consola de Drupal) para ejecutar la migración. Un ejemplo del archivo YAML se muestra en el Anexo B.

II. El módulo Migrate Spreadsheet. No requirió de la conversión manual de Excel a un archivo CSV. Convirtió las filas y columnas del archivo de Excel en entidades de Drupal. Sin embargo, tuvo la misma desventaja que el Migrate API: requirió de conocimientos técnicos para la configuración de un archivo YAML utilizado para mapear las columnas del archivo de Excel a los campos de Drupal y para la instalación de módulos de apoyo para la migración. Un ejemplo del archivo

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 157 - 169

YAML se muestra en el Anexo B.

III. El módulo Excel Importer. Permitió la importación directa de los datos almacenados en archivos de Excel y creó de forma automática el contenido en Drupal, tomando como estructura base uno de los tipos de contenido previamente creado.
Asimismo, requirió que las pestañas del archivo de Excel tuvieran exactamente el mismo nombre de máquina (de sistema) del tipo de contenido en Drupal. Del mismo modo, las columnas de Excel debían coincidir con los nombres de los campos en Drupal. Se presenta mayor información sobre los requerimientos de operación del módulo en el Anexo C. Sin embargo, el principal problema que presentó este módulo fue que los archivos de Excel con filas vacías o con tipos de datos incorrectos, rompían la importación y generaban errores de PHP. Este tipo de problemas es frecuente en hojas de cálculo, como lo señalan Shigarov *et al*. (2019), quienes explican que las hojas de cálculo, debido a su enfoque centrado en el usuario y a la flexibilidad de sus estructuras de diseño, pueden presentar estructuras incorrectas y datos desordenados, como errores tipográficos, valores no estandarizados y espacios adicionales.

IV. El módulo de terceros Feeds. Permitió importar todos los datos del Excel de una manera sencilla y rápida desde el panel de administración de Drupal. Sin embargo, requirió de una configuración previa de los tipos de *feeds*, el procesador y los selectores del módulo, además de *parsers* para Excel/CSV, con el fin de realizar un mapeo avanzado. Una explicación más detallada del proceso se muestra en el Anexo D.
La ventaja es que esta configuración se puede realizar una sola vez por parte de personal técnico y, posteriormente, el módulo permite importar datos de forma periódica.

3. RESULTADOS

Tanto el API de Migración de Drupal como el módulo *Migrate Spreadsheet* pudieron realizar migraciones de 1200 registros de forma eficiente, aunque fue necesaria la creación de archivos de configuración en formato YAML para el mapeo entre columnas y campos.

El módulo Excel Importer realizó el trabajo de migración de forma directa; no requirió configuración de mapeo. Importó los datos estructurados del archivo de Excel directamente a entidades de un tipo de contenido en Drupal. Sin embargo, las inconsistencias estructurales y de formato del archivo de Excel interrumpieron la migración en varias ocasiones.

Por último, el módulo Feeds fue muy eficiente y rápido en la migración de los datos. No generó ningún error a pesar de las fallas en la estructura del archivo de Excel, aunque sí requirió de la verificación de la información. Por ejemplo, cuando una celda lógica en Excel se dividía en varias celdas físicas, el módulo sólo tomaba los datos de la primera e ignoraba el resto.

Al pasar de una hoja de cálculo a una base de datos relacional, las ventajas inmediatas para el usuario final fueron las siguientes: cada registro o entidad (tipo de contenido) quedó identificado mediante una llave primaria, lo que redujo la duplicidad de datos; se mejoró la capacidad de búsqueda y filtrado al permitir realizar búsquedas por diferentes tipos de campos o combinaciones entre ellos; se incrementó la integridad de los datos debido al control estricto del tipo de datos, los campos obligatorios y la validación automática; se mejoró la escalabilidad ya que Drupal está diseñado para gestionar bases de datos independientemente de su complejidad; se posibilitó el establecimiento de relaciones con otros tipos de contenido o entidades mediante indicadores, claves o índices; las tablas de usuarios y revisiones

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 158 - 169

permiten el control de usuarios y permisos, así como mantener un historial para el seguimiento de cambios, respectivamente; y, una vez cargados los datos en Drupal, éstos se pueden utilizar en portales, buscadores o aplicaciones móviles. La mayoría de ellas son ventajas de las que carecía Excel.

4. CONCLUSIONES

Los cuatro módulos evaluados lograron una migración aceptable y segura. Sin embargo, el API de Migración de Drupal y el módulo *Migrate Spreadsheet* requirieron de personal con perfil técnico para usarse correctamente. Lo mismo ocurrió con el módulo Excel *Importer,* debido a que la preparación del archivo de Excel requería utilizar los nombres de máquina. En cuanto a *Feeds,* una vez que un administrador técnico realiza la configuración inicial, el personal sin conocimientos técnicos puede completar el proceso de migración de datos de forma sencilla, lo cual lo convierte en la opción que mejor se ajustó a los requerimientos.

El procedimiento identificado como adecuado y seguro para la migración de datos desde Excel a la base de datos relacional de Drupal, se resume en la instalación y configuración inicial del módulo Feeds en el sistema por parte de personal técnico. Posteriormente, el personal del PUIC sólo debe convertir la última versión del Excel a formato CSV, entrar a la sección de Feeds, cargar el archivo e importar los datos.

REFERENCIAS

Carballo Muñoz, L., Pérez Ayup, N., y López Ibarra, L. (2023). Software informático para la migración de las bases de datos de las personas naturales. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 17*(2), 55–70. https://rcci.uci.cu/index.php/RCCI/article/view/2480

Carrara Bittini, I. L. (2023). *Traspaso de una BBDD en formato Excel a formato SQL y crear una interfaz para interactuar con la BBDD* [Trabajo de fin de máster, Universidad Pontificia Comillas]. Repositorio Institucional de la Universidad Pontificia Comillas. http://hdl.handle.net/11531/77889

Digital-IB. (2026). ¿Cómo elegir un CMS empresarial en 2026 y por qué Drupal sigue siendo una opción sólida? *Digital-IB Insights*. https://www.digital-ib.com/blog/como-elegir-cms-empresarial-2026-drupal-opcion-solida

Rodríguez Hernández, J. (2021). *Diseño e implementación de una base de datos como soporte para un cuadro de mando para la Industria 4.0* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental UVa.

Salazar Fernández, D., Pérez Benites, G. A., Carmenates Ricardo, E., y Pérez Guerrero, J. L. (2025). Mejorando la gestión de información en el laboratorio de tuberculosis de Holguín. Cuba. *Revista Cubana de Informática Médica*, *17*, e810. https://revinformatica.sld.cu/index.php/rcim/article/view/810

Serra, S. L. (2018). *Metodología para construcción de procesos de migración de datos en contexto de sistemas en desarrollo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata]. SEDICI. https://doi.org/10.35537/10915/70365

Shigarov, A., Khristyuk, V., y Mikhailov, A. (2019). TabbyXL: Software platform for rule-based spreadsheet data extraction and transformation. *SoftwareX, 10,* 100270. https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.100270

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 159 - 169

ANEXO A. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CONTENIDOS

Se evaluaron los CSM WordPress, Drupal y Strapi. Se descartaron las soluciones a la medida por su rigidez al momento de escalar. Entre los principales criterios que se consideraron estuvieron los de escalabilidad a largo plazo, la seguridad y datos fáciles de actualizar por personal no técnico a partir de archivos de Excel.

En la siguiente tabla comparativa, se examinan algunos criterios generales de los CMS.

Tabla 1

Comparación de los CMS WordPress, Drupal y Strapi (headless)

Criterio	WordPress	Drupal	Strapi (*headless*)
Complejidad de desarrollo	**Baja / Media**	**Alta**	**Media** (Requiere *frontend* separado)
Migración desde Excel	**Excelente.** Plugins como *WP All Import* procesan archivos CSV/Excel en minutos mediante arrastrar y soltar.	**Sobresaliente.** Módulos nativos potentes (*Feeds* o *Migrate*), pero configurar el mapeo requiere un perfil técnico.	**Moderada.** Requiere desarrollar *scripts* en Node.js a medida o usar *plugins* específicos de la comunidad para la API.
Facilidad de manejo para el usuario final	**Excelente.** Su panel de administración es el más intuitivo del mercado.	**Media / Baja.** Su panel es complejo, pensado para administradores avanzados o desarrolladores.	**Media.** Interfaz limpia, pero el enfoque *headless* exige entender conceptos de API o esquemas de datos.
Escalabilidad a largo plazo	**Media / Alta** (Sufre con millones de relaciones)	**Excelente** (Arquitectura empresarial	**Excelente** (API-first, desacoplado)
Seguridad de fábrica	**Media** (Muy expuesto por popularidad y *plugins*)	**Excelente** (Estándar gubernamental / bancario)	**Alta** (Superficie de ataque reducida por ser *headless*)

De acuerdo a la tabla comparativa, WordPress parecía ser la mejor opción por tener una mejor experiencia de usuario final con una interfaz de administración familiar y amigable para el personal sin conocimientos técnicos, un flujo de actualización o migración de Excel muy sencillo y con un proceso de desarrollo rápido. Sin embargo, si los 1,200 registros con múltiples campos se convierten en 100,000 en el futuro, las consultas a la base de datos se volverán lentas y pesadas. WordPress utiliza tablas como wp_postmeta y wp_usermeta para guardar información adicional. Esta estructura almacena los datos en filas, en lugar de columnas. Si se tienen 10,000 entradas y cada una tiene 14 campos personalizados, la tabla wp_postmeta tendrá 140,000 filas rápidamente. Por otro lado, con el tiempo, WordPress acumula miles de filas innecesarias que el sistema tiene que revisar en cada consulta. La depuración de esas tablas hace necesaria la presencia de personal técnico. Además, está el tema de la seguridad: debido a su popularidad, WordPress es el CMS más atacado del mundo. Por lo mismo, requiere de un monitoreo constante de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 160 - 169

firewalls y de la calidad y seguridad de los *plugins* de terceros que están instalados, incluyendo el que se use para importar el Excel.

En el caso de Drupal, éste cuenta con un ecosistema potente para la migración de datos, crea tablas de bases de datos indexadas y dedicadas para cada tipo de contenido y campo, por lo que soporta millones de registros y consultas complejas de manera nativa sin degradar el rendimiento. Además, es el estándar en seguridad web, utilizado por gobiernos y corporaciones globales. Cuenta con un equipo de seguridad dedicado que audita rigurosamente el núcleo y los módulos propios y de terceros.

Se sacrifica la facilidad de desarrollo al inicio del proyecto y la facilidad de uso del usuario final, lo cual se puede arreglar con un manual de usuario que ejemplifique los pocos pasos a seguir para la migración. Se gana en que la actualización posterior mediante archivos de Excel sea un proceso a prueba de errores para el personal no técnico.

Por último, con Strapi se puede desarrollar un sitio web de forma rápida y con óptima seguridad. Es excelente también en la escalabilidad a largo plazo. Sin embargo, requiere que el usuario final entienda los conceptos de esquemas de datos y que el equipo técnico programe a medida la herramienta de migración de datos desde Excel. Al ser *headless*, se tienen que construir dos cosas de forma separada: el *backend* en Strapi y el sitio web visible al público (*frontend*). Estas situaciones implican un mayor tiempo de desarrollo.

ANEXO B. EJEMPLOS DEL ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN YAML

Ejemplo de archivo de configuración YAML para Migrate API

```
id: estudios_especializados_csv
label: 'Migración de estudios especializados desde CSV'
migration_group: estudios_especializados

source:
  plugin: csv
  path: 'modules/custom/estudios_especializados_migrate/data/estudios_especializados_normalizado.csv'
  header_offset: 0
  ids:
    source_id:
      type: integer

process:
  title: titulo

  field_titulo/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 161 - 169

```
    source: titulo
  field_titulo/format:
    plugin: default_value
    default_value: plain_text

  field_autor/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: autor
  field_autor/format:
    plugin: default_value
    default_value: plain_text

  field_biblioteca_de_consulta/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: biblioteca_de_consulta
  field_biblioteca_de_consulta/format:
    plugin: default_value
    default_value: plain_text

  field_fecha_de_consulta:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: fecha_de_consulta

destination:
  plugin: 'entity:node'
  default_bundle: estudios_especializados

migration_dependencies:
  required: {  }
  optional: {  }
```

Ejemplo de archivo de configuración YAML para Migrate Spreadsheet

```
id: estudios_especializados_excel
label: 'Migración de estudios especializados desde Excel'
migration_group: estudios_especializados

source:
  plugin: spreadsheet
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 162 - 169

```
  file: 'modules/custom/estudios_especializados_migrate/data/BaseDeDatosEnExcel.xlsx'

  worksheet: 'Hoja1'

  header_row: 1

  origin: A2

  keys:
    source_id:
      type: integer

process:

  title: Título

  field_titulo/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: Título

  field_titulo/format:
    plugin: default_value
    default_value: plain_text

  field_autor/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: Autor

  field_autor/format:
    plugin: default_value
    default_value: plain_text

  field_biblioteca_de_consulta/value:
    plugin: skip_on_empty
    method: process
    source: Biblioteca de consulta

  field_biblioteca_de_consulta/format:
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 163 - 169

```
  plugin: default_value
  default_value: plain_text

field_fecha_de_consulta:
  plugin: format_date
  source: Fecha de consulta
  from_format: 'd/m/Y'
  to_format: 'Y-m-d'

destination:
  plugin: 'entity:node'
  default_bundle: estudios_especializados
```

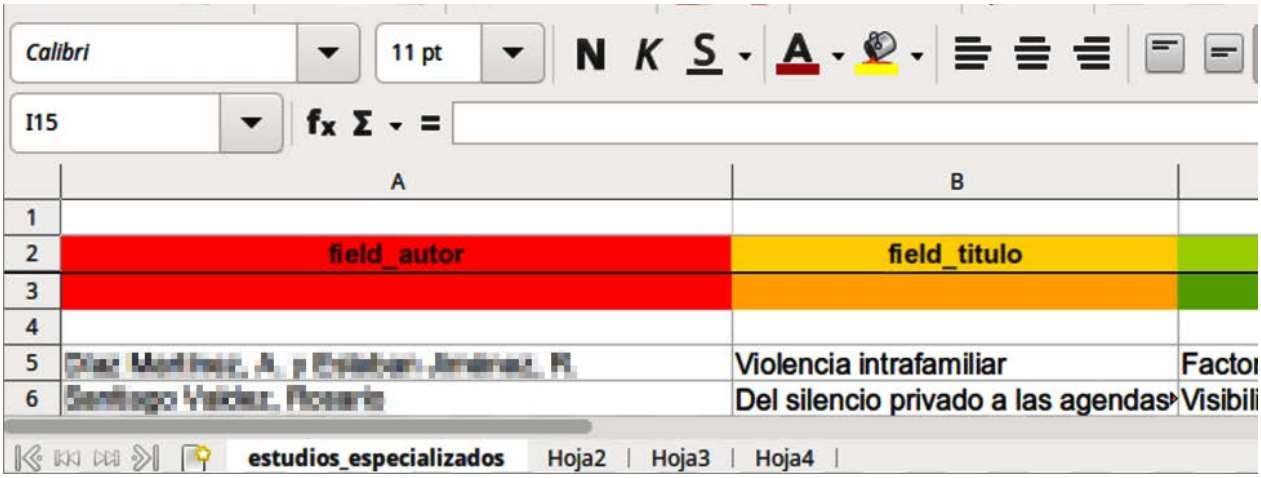
ANEXO C. REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL MÓDULO EXCEL *IMPORTER*

El módulo de migración de datos Excel *Importer* requiere para su operación que las pestañas en el archivo de Excel se llamen exactamente igual que el nombre de máquina (de sistema) del tipo de contenido en Drupal, en este caso: estudios_especializados. Por otro lado, los nombres de las columnas deben colocarse estrictamente en la segunda fila de la hoja de Excel, y estos nombres deben coincidir de forma exacta con los nombres de máquina de los campos del tipo de contenido de Drupal.

Si los nombres de máquina son para autor field_autor y para título field_titulo, el archivo de Excel debe formatearse como se muestra a continuación:

Figura 2

Formato de nombres para el archivo Excel cuando se usa con el módulo Excel Importer



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 164 - 169

ANEXO D. EJEMPLO DE CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO *FEEDS*

Se partió de un archivo de Excel con información organizada en filas y columnas.

Figura 3

Ejemplo de datos en filas y columnas de un archivo Excel

	B	C	D	F
1	Autor	Título	Temas	Estados
2				
27	[redacted]	violencia familiar: reporte de profesores	Problemas de conducta ;;;;	Brasil
28	[redacted]	Prevención educativa de la violencia familiar	Violencia en el rendimiento académico ;;;;	España
29	[redacted]	sistemática	Violencia Familiar ;Violencia escolar ;;;	Colombia
30	[redacted]	docentes	escolar :Convivencia escolar ;;	Esapaña
31	[redacted]	en sectores populares de Lima	Violencia intrafamiliar;;;;	Perú
32	[redacted]	y 15 años	Violencia intrafamiliar;;;;	Ecuador
33	[redacted]	ejecución académica	Violencia intrafamiliar;;;;	México
34	[redacted]	oficial	Violencia intrafamiliar;;;;	Colombia
35	[redacted]	Infantil	Violencia intrafamiliar;;;;	España
36	[redacted]	Educación Básica y Media en Bogotá	Violencia escolar ;;;;	Colombia
37	[redacted]	Ansiedad en niños víctimas de violencia intrafamiliar	Violencia intrafamiliar;;;;	Guatemala

El primer paso para migrar la información a la base de datos de Drupal fue convertir el archivo de Excel a un archivo con formato CSV (valores separados por comas), que puede ser leído con más facilidad por Drupal que el archivo de Excel. Simplemente se guarda con esa extensión en el mismo Excel, en Unicode (UTF-8) y delimitador de campos ",". Se trata de un documento de texto plano que almacena información organizada en forma de tabla, donde cada línea representa una fila y los campos de cada columna están separados por una coma.

Creación del tipo de contenido en Drupal

Lo siguiente fue crear en Drupal un tipo de contenido capaz de guardar la información de cada una de las líneas del Excel con sus 14 columnas. Si, por ejemplo, al tipo de contenido se le asignara el nombre de Estudios Especializados, su estructura estaría compuesta por campos con los mismos nombres (no es obligatorio) de las columnas del Excel, como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 2

Campos creados en un tipo de contenido de Drupal a partir de los nombres de las columnas en el archivo Excel

Estudios especializados	
Nombre del campo	**Tipo**
Título	Texto
Autor	Texto
Temas	Texto
Estados	Texto
Regiones	Texto

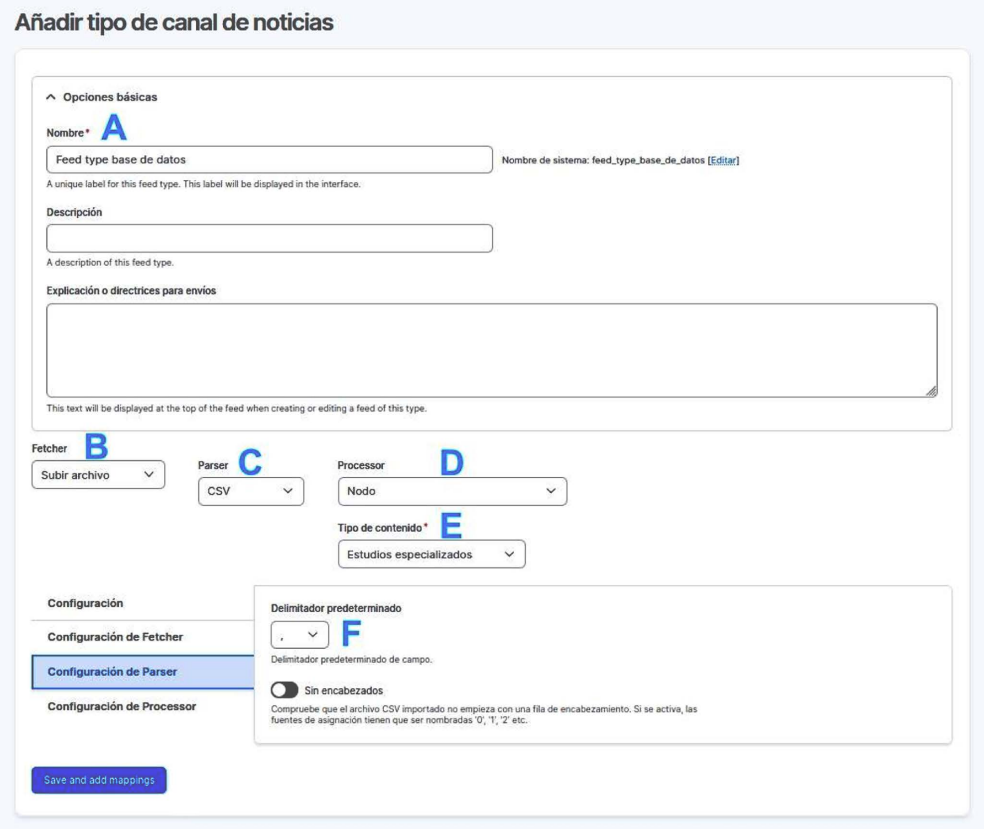
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 165 - 169

Creación de un *Feed type* (tipo Canal de Noticias)

La forma en que se van a importar las columnas desde el archivo de Excel se configura a través de la creación de un *Feed type*. Partiendo del menú principal de Drupal, se selecciona la opción: Estructura > *Feed types* > Añadir *feed type*. Aparecerá enseguida la pantalla de configuración del Feed type:

Figura 4

Creación de un Feed Type



Los principales campos deben llenarse de la siguiente forma:

A. El nombre puede ser el que se guste, por ejemplo: "*Feed type* base de datos".

B. *Fetcher*: seleccionar *Upload file* o Subir archivo (la forma de importación).

C. *Parser*: seleccionar CSV

D. *Processor*: seleccionar Node (se crearán elementos)

E. *Content type* o Tipo de contenido de Drupal: seleccionar Estudios especializados

F. *Default delimiter* o Delimitador predeterminado: En las pestañas de la parte inferior, haga clic en "Configuración de *Parser*"; ahí, se verifica que el delimitador predeterminado sea una coma (,). Esto se

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 166 - 169

hace debido a que los datos que se van a importar estarán separados por comas (se trata del archivo CSV).

Finalmente, haga clic en el botón <<*Save and add mappings*>> para pasar al mapeo de campos.

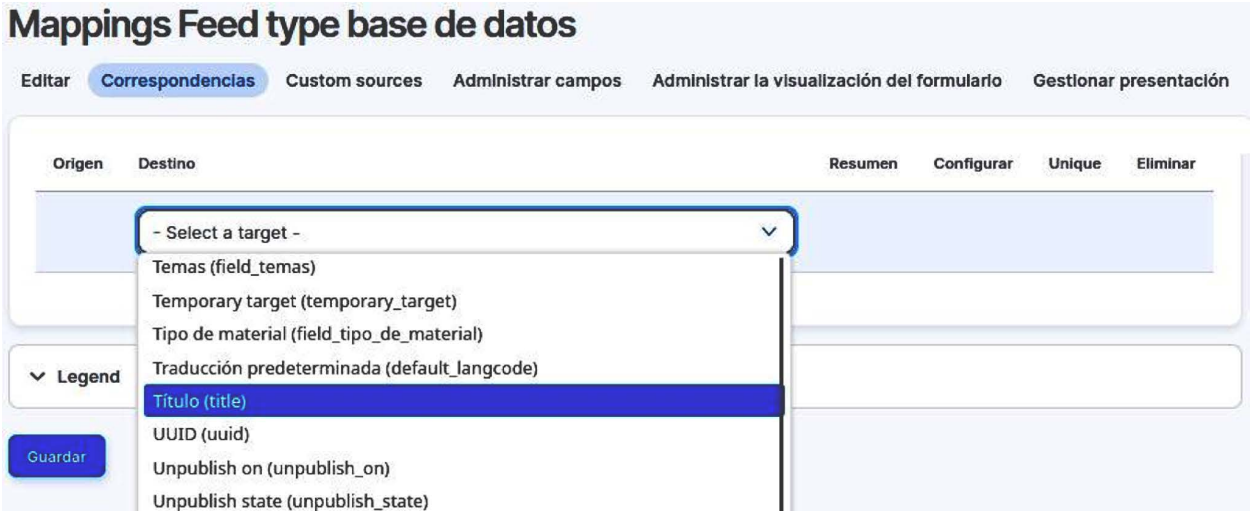
Mapeo de los campos del *Feed type*

El siguiente proceso es para seleccionar los nombres de los campos del tipo de contenido de Drupal "Estudios especializados", uno por uno, para irles asociando las columnas del archivo CSV que les corresponden, comenzando por el campo Título.

Se hace clic en "*Select a target*". Se busca y selecciona Título (*title*). Este campo pertenece al tipo de contenido de Drupal.

Figura 5

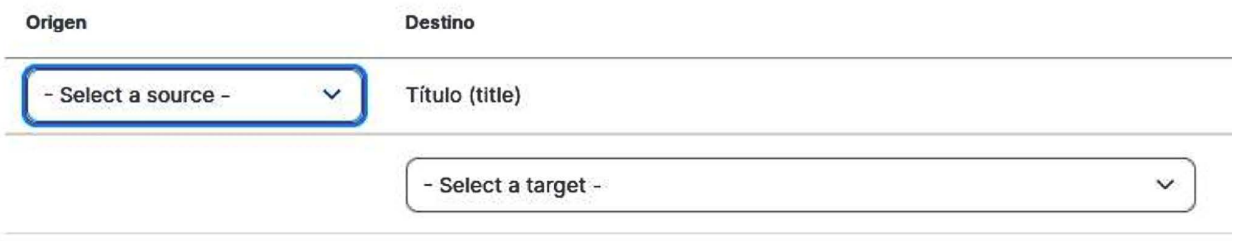
Mapeo de campos del Feed Type



Los siguientes pasos son para seleccionar la columna del archivo CSV que se va a mapear (asociar) con el campo Título seleccionado en el punto anterior. Se hace clic en "*Select a source*".

Figura 6

Seleccionando la fuente del mapeo



Se selecciona la opción: New CSV column source...

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 167 - 169

Figura 7

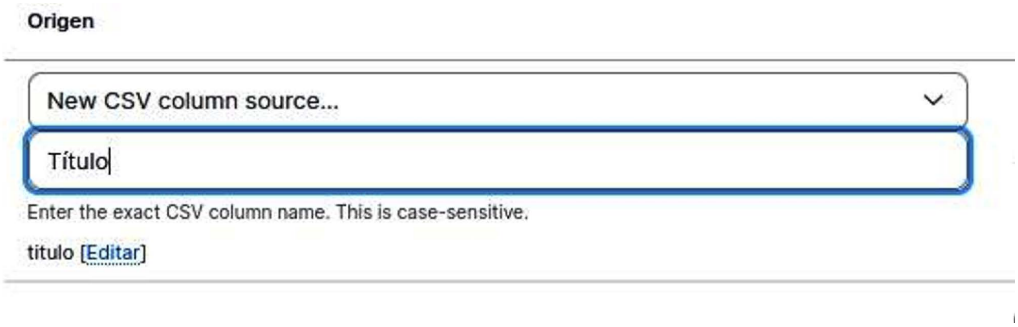
Seleccionando el tipo de archivo fuente



En el campo de texto que aparece, se introduce el nombre de la columna del archivo CSV (del archivo Excel) que se quiere mapear, en este caso, es "Título". Se debe escribir exactamente como aparece en el archivo, ya que este campo es *case-sensitive*.

Figura 8

Nombre de la columna en el archivo CSV



Por último, si el presente campo se va a utilizar como "llave" en la base de datos, entonces en el lado derecho se activa la casilla del atributo: *Unique* o Única, para indicar que este campo debe tener un contenido único.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 168 - 169

Figura 9

Se selecciona el presente campo para ser utilizado como llave primaria

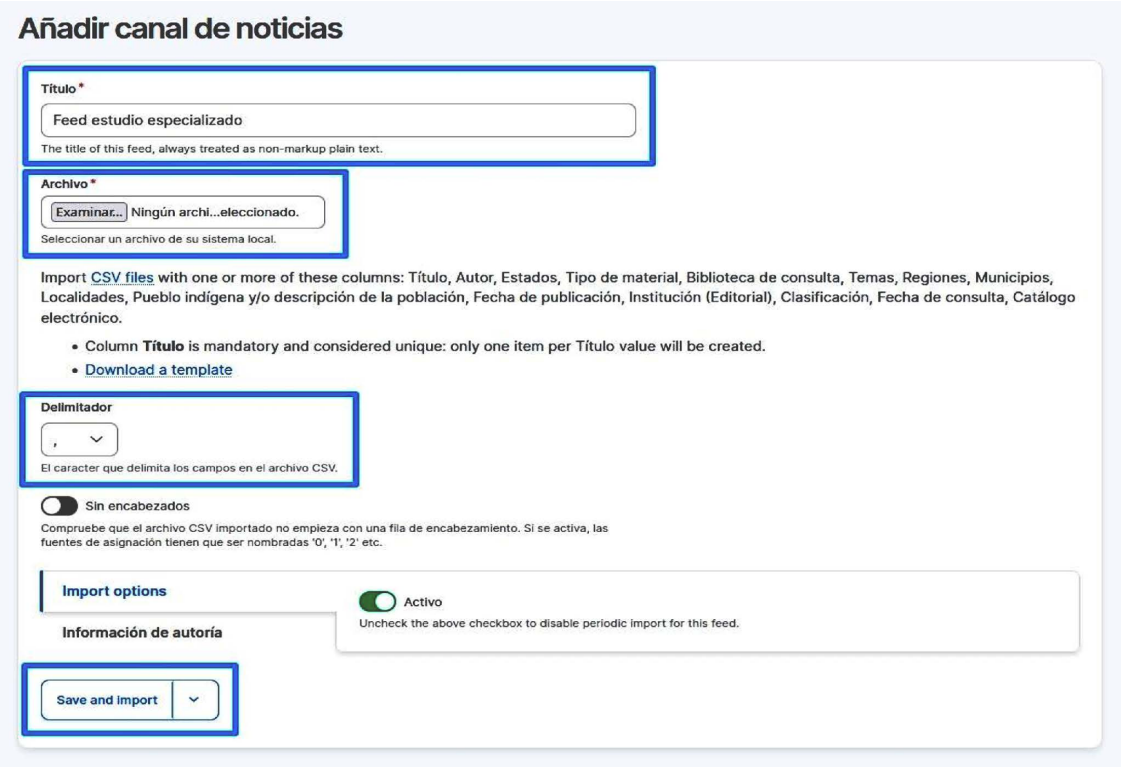


Importación de los datos del archivo CSV a Drupal, haciendo uso de un *Feed* o "Canal de noticias"

Éste es el final del proceso. En el menú de administración de Drupal, se hace clic en la opción Contenido > Canales de noticias (*Feeds*). A continuación, se agrega un canal de noticias. Después de esto, aparece el siguiente formulario:

Figura 10

Formulario de importación de datos del archivo CSV



En el campo Título, se escribe el nombre que se desee.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.192 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 169 - 169

En el campo Archivo (*File*), se debe cargar el archivo con formato CSV. Drupal hará una copia interna del archivo y será ésa la que procesará, por lo que, si posteriormente se actualiza la información del archivo CSV, éste tendrá que volverse a cargar para sustituir la copia interna que hizo Drupal.

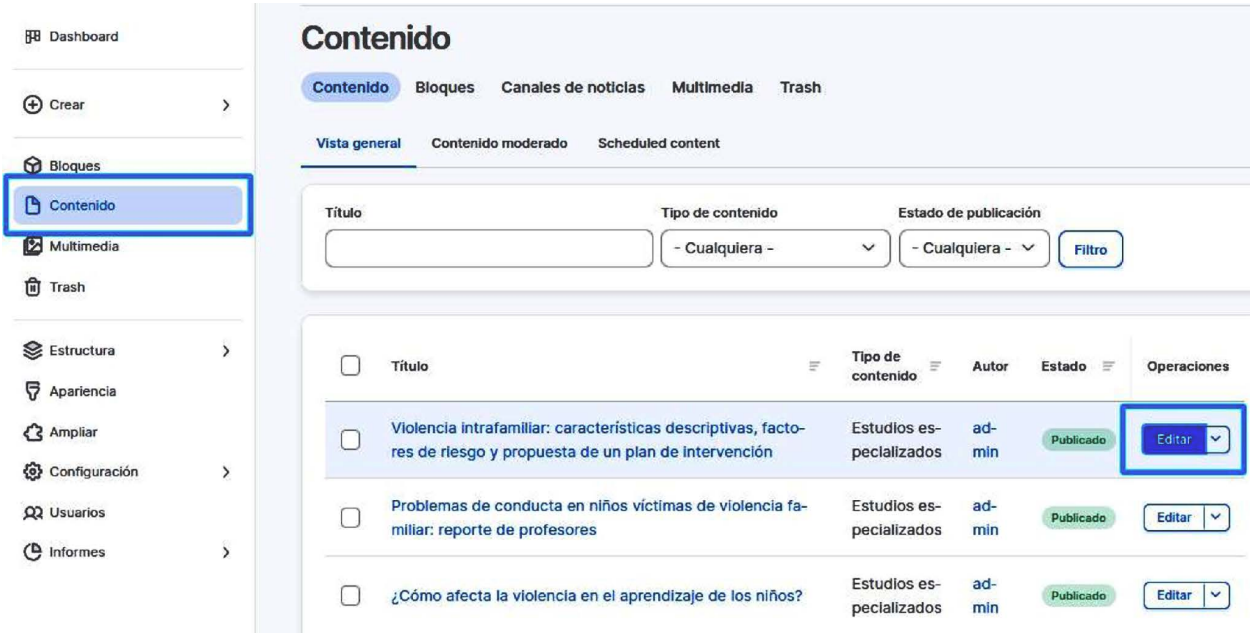
En la opción Delimitador (*Delimiter*), se debe verificar que el delimitador es una coma ",".

Finalmente, se hace clic en <<Guardar e importar>> (*Save and import*).

El proceso de migración de los datos comenzará de inmediato. Una vez finalizado, el resultado podrá observarse en la opción Contenido del menú de administración de Drupal.

Figura 11

Ventana de Drupal mostrando los elementos creados a partir de la migración de datos del archivo CSV



Cada uno de los elementos que se observan corresponde a una línea del archivo de Excel, conteniendo la información de sus 14 columnas. Pueden borrarse, editarse y modificarse de forma particular.

Esta última ventana es la más importante para el personal del PUIC, porque, después de haber convertido el archivo de Excel a formato CSV, el paso de cargar este archivo en el campo "Archivo" del formulario es el único que necesitaría realizar. Todo el resto quedaría configurado de antemano.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 170 - 180

Granja de renderizado distribuida: diseño modular, controles de seguridad e interoperabilidad mediante software libre

Distributed render farm: modular design, security controls, and interoperability through open source software

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Zenil Rivas, P. E. (2026). Granja de renderizado distribuida: diseño modular, controles de seguridad e interoperabilidad mediante software libre. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (170 - 180). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210

Pablo Enrique Zenil Rivas
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
pablozr@unam.mx
ORCID: 0009-0007-3956-0194

Resumen

El renderizado de escenas tridimensionales requiere recursos especializados y tiempos que superan la capacidad de una estación de trabajo típica de un estudiante. Para atender esa problemática, se desarrolló un servicio de granja de renderizado distribuida que integra un servidor de aplicación, un portal web y nodos de cómputo independientes, dirigido a los estudiantes de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El sistema se diseñó con una arquitectura modular que separó el servidor, la capa de datos, los renderizadores y la comunicación con el gestor de colas. Se integró el gestor Afanasy mediante un adaptador que utiliza sus herramientas oficiales y se aplicaron técnicas de seguridad como la autenticación por token, el cifrado de contraseñas y la validación de rutas de descarga.

El servicio permite cargar proyectos, iniciar su renderizado, observar el avance en tiempo real y descargar los resultados comprimidos, con nodos operados en distintos sistemas operativos. Las optimizaciones en el intercambio de información con el gestor de colas y en la transmisión de archivos se plantearon como estrategias para reducir la carga del servidor. Se concluyó que la integración de *software* libre, la modularización y la implementación de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 171 - 180

controles de seguridad permiten ofrecer un servicio distribuido, seguro en sus accesos e interoperable entre plataformas.

Palabras clave: Arquitectura por capas, autenticación con token, colas de trabajo, sistemas distribuidos.

Abstract

Rendering three-dimensional scenes requires specialized resources and execution times that exceed the capacity of a typical student workstation. To address this issue, a distributed render farm service was developed, composed of an application server, a web portal, and independent compute nodes, tailored for students at the Facultad de Artes y Diseño of the Universidad Nacional Autónoma de México.

The system was designed with a modular architecture that separates the server, data layer, renderers, and communication with the queue manager. The Afanasy manager was integrated via an adapter that uses its official tools, and security techniques such as token-based authentication, password encryption, and download path validation were implemented.

The service allows users to upload projects, launch their rendering, monitor progress in real time, and download compressed rendering results, with nodes operating across different operating systems. Optimizations in queue manager communication and file transmission were designed as strategies to reduce server load. It was concluded that the integration of open-source software, modularization, and security controls provides a distributed, secure-access, and cross-platform interoperable service.

Keywords: *Layered architecture, token authentication, queue scheduling, distributed systems.*

1. INTRODUCCIÓN

El renderizado de escenas tridimensionales concentra buena parte de la carga de cómputo de la producción audiovisual. Cuando la complejidad de una escena excede la capacidad de una estación de trabajo local, los tiempos de procesamiento dificultan el flujo continuo de las actividades académicas. La Granja de Renderizado de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) fue desarrollada para atender esta necesidad, ofreciendo un servicio de renderizado a los estudiantes de la Facultad de Artes y Diseño (FAD). A través de un portal web, los alumnos procesan sus proyectos tridimensionales, creados en programas como Blender (Blender Foundation, 2019) o 3ds Max (Autodesk, 2023).

El flujo operativo contempla el registro de usuarios, la administración de proyectos, la carga de archivos fuente, el envío de trabajos a la cola de procesamiento y la descarga posterior de las imágenes o videos resultantes.

El desarrollo planteó el reto de admitir concurrencia de usuarios, resguardar la privacidad de las cuentas y archivos, así como reflejar el estado de ejecución en tiempo real. Además, la infraestructura requería integrarse con nodos heterogéneos bajo sistemas operativos como Linux, Windows y entornos en contenedor, evitando la reescritura del servidor central ante la incorporación de nueva infraestructura.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 172 - 180

Las granjas híbridas que combinan recursos locales y remotos muestran beneficios en costos y tiempos de transferencia (Cho y Bahn, 2019), y la asignación de tareas a través de colas de trabajo da buenos resultados cuando los recursos se reparten según la carga de los equipos (Minarolli, 2022). Estas referencias sustentaron la decisión de integrar un gestor de colas de código abierto consolidado en lugar de desarrollar una solución propia.

La contribución descrita en este reporte técnico se centró en el diseño y el desarrollo del servidor que administra los proyectos, el portal por el que operan los usuarios y la adaptación del gestor de colas a la infraestructura institucional. El trabajo se realizó en los dos años previos a la elaboración de este reporte técnico, y se basó en tres principios: la integración de *software* libre, la división del sistema en módulos independientes y la aplicación de medidas de seguridad y de optimizaciones de eficiencia.

El sistema se encuentra desplegado en la infraestructura institucional (https://grend.educatic.unam.mx), operando en una fase de pruebas piloto dirigida a profesores y alumnos de la FAD. Previo a este despliegue, el sistema fue sometido a una evaluación de seguridad informática en la DGTIC, aplicando las correcciones requeridas para su dictaminación favorable.

El objetivo de este trabajo consistió en diseñar e implementar un servicio de granja de renderizado distribuida mediante el gestor de colas Afanasy, una arquitectura modular y controles de seguridad validados, de manera que la comunidad universitaria dispusiera de una plataforma funcional, segura e interoperable entre entornos operativos heterogéneos.

2. DESARROLLO TÉCNICO

El trabajo se organizó en cuatro etapas: diseño, configuración, instalación y pruebas. En cada etapa, se buscó que las decisiones tuvieran respaldo técnico y académico.

2.1 METODOLOGÍA

Diseño. Se definió una arquitectura modular de tres componentes: un servidor de aplicación que expone servicios por HTTP y WebSocket; un portal web reactivo desarrollado en React que los consume; y los nodos encargados de ejecutar los trabajos de renderizado. La capa de servicios (API) se estructuró sobre Node.js, cuyo modelo de entrada y salida no bloqueante atiende de forma concurrente las peticiones de los usuarios. La comunicación en tiempo real se resolvió con WebSockets, debido a su superioridad en intercambios continuos de información entre cliente y servidor frente a otras alternativas (Karla y Tarnawski, 2019). La administración de los trabajos se delegó al gestor de colas Afanasy (proyecto CGRU) por su madurez y soporte para múltiples motores de renderizado (CGRU, s. f.). El almacenamiento se aisló en una capa con MongoDB, adecuada para administrar metadatos de proyectos heterogéneos (Carvalho *et al*., 2022). Las versiones específicas del *software* y el desglose de dependencias del *backend* y *frontend* se detallan en el Anexo A.

Configuración e instalación. Los componentes del gestor de colas y la base de datos se desplegaron en contenedores orquestados mediante Docker Compose con redes y volúmenes de persistencia integrados. El sistema se montó sobre una infraestructura híbrida compuesta por un servidor principal en Debian 11 y un volumen de almacenamiento NFS compartido de 300 GB conectado a los nodos de renderizado, los cuales operan en Windows 11 Pro, Linux o contenedores. El servidor de aplicación y los nodos se

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 173 - 180

mantienen bajo un gestor de procesos para asegurar su reinicio automático ante eventuales caídas. Los nodos de renderizado utilizan el cliente oficial del gestor de colas. La topología de red, especificaciones de *hardware* y la configuración de contenedores se describen en el Anexo B.

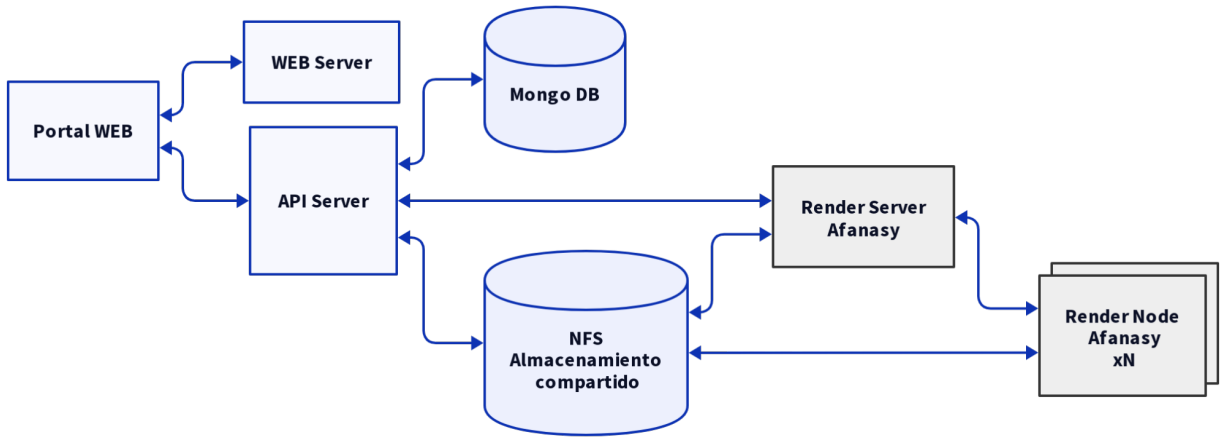
Pruebas. Se validaron la autenticación, la subida de archivos, el lanzamiento de trabajos y la descarga de resultados. Las credenciales de usuario se protegen con bcrypt, que agrega una sal aleatoria y eleva el costo de un ataque por fuerza bruta (Lustro, 2019). Las sesiones se manejan con tokens de corta validez conforme a los lineamientos para servicios web seguros (Stjepanović y Šimec, 2026).

2.2 DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO

El servidor se dividió en módulos de una sola responsabilidad. La comunicación con el gestor de colas quedó en un módulo aparte que traduce los estados de cada trabajo. Los renderizadores se agruparon en un componente que define los comandos permitidos para cada motor, y la capa de datos se almacena en la base documental. Esta separación modular facilitó el mantenimiento del código y permitió modificar componentes específicos sin alterar la operación global del servidor. En la Figura 1, se ilustra la arquitectura general del sistema.

Figura 1

Arquitectura general de la Granja de Renderizado



Granja de Render. Diagrama de la arquitetura

Nota. Diagrama de bloques de la arquitectura modular. Las flechas representan la dirección del flujo de datos e interacción entre la interfaz de usuario, el servidor API, la base de datos documental, el almacenamiento compartido NFS, el servidor de colas Afanasy y los nodos de ejecución heterogéneos.

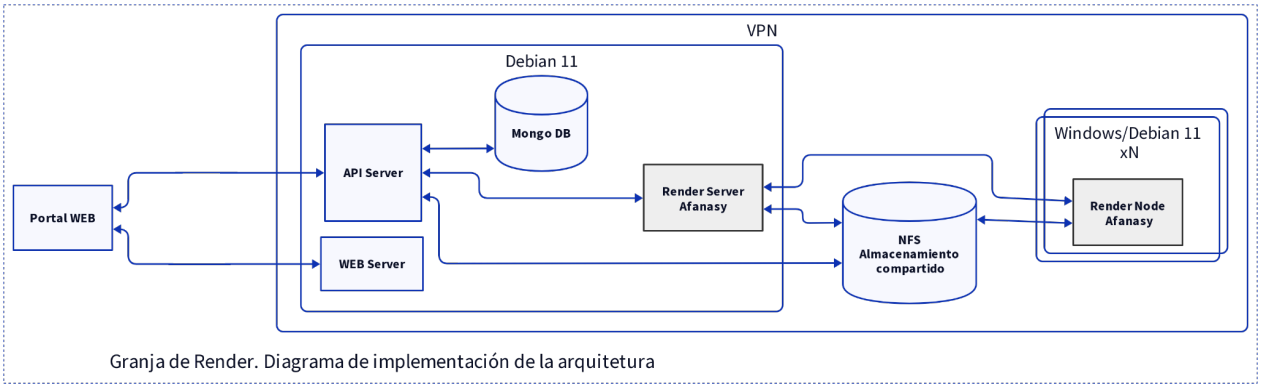
La integración del gestor Afanasy requirió abstraer su protocolo de red nativo para evitar modificar el código fuente original del proyecto libre. Se desarrolló un adaptador en Python que captura la definición de los trabajos desde la herramienta oficial del gestor y canaliza los comandos mediante la salida estándar hacia el servidor Node.js. En los nodos, se instalaron los motores de renderizado de Blender, junto con el cliente nativo de Afanasy. El mapeo de rutas uniformes sobre el volumen NFS permitió que nodos

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 174 - 180

bajo distintos sistemas operativos procesaran los mismos archivos sin conflictos de direccionamiento. La Figura 2 ilustra el despliegue físico sobre una red privada.

Figura 2

Despliegue de la arquitectura sobre red privada



Nota. Representación del despliegue físico y lógico en la red institucional. Las líneas conectan los componentes alojados en el servidor Debian 11 con el volumen de almacenamiento NFS y los nodos distribuidos (Windows 11 Pro), operando en un segmento privado de red.

En materia de seguridad, se diseñó un esquema basado en la restricción de rutas y la gestión de identidades. La autenticación de usuarios emplea un token firmado conforme al estándar RFC 7519 (Jones *et al*., 2015), exigido por igual en las peticiones HTTP y en la conexión de tiempo real por WebSocket. Las contraseñas se almacenan con bcrypt (Lustro, 2019). Las descargas usan un token de vigencia breve, un esquema que coincide con la autenticación por tokens descrita por Stjepanović y Šimec (2026), y se verifican mediante patrones de desinfectado de rutas para prevenir ataques de salto de directorio (*path traversal*). Adicionalmente, las llamadas a ejecutables externos neutralizan los parámetros recibidos para evitar la inyección de comandos. Estos controles fueron sometidos a las pruebas de seguridad requeridas por la DGTIC antes del despliegue en producción.

Para orientar el diseño hacia el uso eficiente de recursos, la comunicación con el gestor externo se estructuró mediante patrones de consolidación de peticiones. En lugar de consultar el estado de la granja por cada usuario activo, el servidor consolida la solicitud en una sola consulta por ciclo y distribuye la respuesta. Los resultados se transmiten comprimidos y en flujo (*streaming*), sin cargar el archivo completo en memoria, con lo que se reducen las transferencias innecesarias en granjas híbridas (Cho y Bahn, 2019). Además, se implementó una verificación previa para evitar el envío de trabajos duplicados. Si bien estas decisiones reducen teóricamente el tráfico y la memoria requerida, su rendimiento bajo escenarios de alta concurrencia permanece pendiente de evaluación cuantitativa.

3. RESULTADOS

La plataforma desarrollada quedó operativa y disponible para los usuarios autorizados, cubriendo el ciclo completo de procesamiento: creación de proyectos, carga de archivos de escena 3D, configuración de parámetros de renderizado (rangos de fotogramas), monitoreo en tiempo real del progreso de cada

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 175 - 180

fotograma y descarga del paquete de resultados. En el Anexo C, se puede apreciar la interfaz de usuario del sistema.

La interoperabilidad y el desacoplamiento del sistema se verificaron con la incorporación de nodos de distinta naturaleza: un contenedor Docker, un servicio bajo Linux y un servicio bajo Windows. La integración de estos tres entornos sin requerir modificaciones en el servidor de aplicación confirmó la flexibilidad de la arquitectura modular y el desacoplamiento previsto, aunque la escalabilidad en términos de capacidad de procesamiento bajo cargas masivas de trabajo no fue objeto de medición en esta prueba.

La eficiencia es visible en la operación. El estado de la granja se consulta una vez por ciclo sin importar cuántos usuarios están activos y las descargas en flujo no comprometen la memoria del servidor. En los registros de la cola, no aparecen trabajos duplicados para un mismo archivo.

En seguridad, la autenticación se exigió tanto en el acceso a los proyectos como en la conexión de tiempo real, y las descargas quedaron restringidas al directorio del proyecto correspondiente. La revisión del código dejó también mejoras pendientes registradas como las dependencias no declaradas y permisos de subida más amplios de lo necesario.

La evaluación de las granjas de renderizado como servicio (Ruby Annette y Banu, 2018), la aptitud de las bases documentales para datos heterogéneos (Carvalho *et al*., 2022) y la autenticación por token para servicios de red (Stjepanović y Šimec, 2026) recomendados en la literatura, se corresponden con lo observado. El ahorro de recursos no surge de equipos potentes, sino de una comunicación cuidadosa entre componentes.

4. CONCLUSIONES

El servicio desarrollado responde a la necesidad de dotar a la comunidad universitaria de un sistema de renderizado que creciera con la demanda y resguardara los proyectos. El objetivo principal se cumplió al diseñar e implementar un servicio distribuido cuya arquitectura por módulos permite incorporar nodos heterogéneos y adaptar componentes sin reestructurar el servidor principal, demostrando interoperabilidad. Los controles de seguridad integrados fueron validados satisfactoriamente mediante la revisión de seguridad institucional previo a su puesta en línea.

La adopción de herramientas de código abierto como Afanasy, Blender, MongoDB y Node.js permitió construir una solución robusta utilizando componentes maduros de la comunidad tecnológica. La separación modular de componentes demostró ser adecuada para la integración de plataformas heterogéneas sin comprometer la estabilidad del núcleo del sistema.

Como trabajo futuro, se contempla la realización de pruebas de carga y estrés cuantitativas que permitan medir los tiempos de respuesta, la latencia en las conexiones WebSocket y el consumo de recursos en escenarios de alta concurrencia de usuarios. Además, se recomienda ampliar la integración a más motores de renderizado y cerrar las mejoras anotadas durante la revisión. El desarrollo contempla además la incorporación de la Identidad Digital Universitaria (IDU), el servicio de identificación y autenticación que permite el acceso con clave única a los sistemas y aplicaciones de la Universidad. La IDU sustituirá el registro local y acercará la granja al resto de los servicios institucionales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 176 - 180

REFERENCIAS

Autodesk. (2023). *Autodesk 3ds Max Documentation*. Autodesk Knowledge Network. https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2023/ENU/

Blender Foundation. (2019, 30 de julio). *Blender* 2.80. Blender. https://www.blender.org/download/releases/2-80/

Carvalho, I., Sá, F. y Bernardino, J. (2022). NoSQL document databases assessment: Couchbase, CouchDB, and MongoDB. En *Proceedings of the 11th International Conference on Data Science, Technology and Applications* (pp. 557–564). SCITEPRESS. https://doi.org/10.5220/0011352700003269

CGRU. (s. f.). *CGRU tools for CG production: AFANASY*. https://cgru.info

Cho, K. y Bahn, H. (2019). Revision-aware caching for hybrid cloud render farm. En *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Cloud Computing and Internet of Things* (pp. 13–18). ACM. https://doi.org/10.1145/3361821.3361835

Jones, M., Bradley, J. y Sakimura, N. (2015). *JSON Web Token (JWT)* (RFC 7519). Internet Engineering Task Force. https://doi.org/10.17487/RFC7519

Karla, T. y Tarnawski, J. (2019). Soft real-time communication with WebSocket and WebRTC protocols performance analysis for web-based control loops. En *2019 24th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)* (pp. 634–639). IEEE. https://doi.org/10.1109/MMAR.2019.8864680

Lustro, R. A. F. (2019). Ameliorating password security authentication using BCRYPT algorithm with dynamic salt generation. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, *11*(12), 1240–1245. https://doi.org/10.5373/jardcs/v11sp12/20193331

Minarolli, D. (2022). A distributed task scheduling approach for cloud computing based on ant colony optimization and queue load information. En *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 13–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19945-5_2

Ruby Annette, J. y Banu, A. (2018). Ranking cloud render farm services for a multi criteria recommender system. *Sādhanā*, *44*(1), Artículo 7. https://doi.org/10.1007/s12046-018-0981-0

Stjepanović, K. y Šimec, A. (2026). Methodological approach to REST API design with the implementation of authentication and authorization using JSON Web Token (JWT). *Elektronički zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku*, *20*(1-2), 251–260. https://doi.org/10.51650/ezrvs.20.1-2.15

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 177 - 180

ANEXO A. PILA TECNOLÓGICA Y DEPENDENCIAS DE SOFTWARE

Tabla 1

Componentes del sistema y dependencias del Servidor API (backend)

Categoría	Herramienta / Librería	Versión	Propósito / Función
Núcleo de renderizado	CGRU / Afanasy	v3.4.1	Gestor de colas y distribución de renderizado
Lenguaje / *Runtime*	Node.js / Python	v18 / v3.11	Servidor de aplicaciones y *script* adaptador Python
Bases de datos	MongoDB	9.0.2	Almacenamiento documental de proyectos
***Framework* Web**	Express	4.18.2	Servidor API HTTP
ORM / ODM	Mongoose	7.1.1	Modelado de datos para MongoDB
Tiempo real	Socket.IO	4.5.3	Comunicación bidireccional en tiempo real con el cliente
Seguridad	Bcrypt / Bcryptjs	6.0.0 / 2.4.3	Encriptación y salado de contraseñas de usuarios
Autenticación	Jsonwebtoken	8.5.1	Gestión de sesiones mediante tokens JWT
Gestión de archivos	Multer / Zip-a-folder	1.4.5-lts.1 / 1.1.5	Carga de archivos de escena y compresión de entregables

Tabla 2

Dependencias del portal Web (frontend en React)

Categoría	Librería / Paquete	Versión	Propósito / Función
Librería base	React / React DOM	19.0.0	Biblioteca principal de interfaz de usuario
Empaquetador / *Build*	Vite	6.2.0	Entorno de desarrollo y empaquetado de producción
***Frameworks* de IU**	MUI Material / Semantic UI React	7.0.0 / 3.0.0-beta.2	Componentes de diseño, modales y tablas de la interfaz
Estilos / CSS	Emotion / Sass	11.14.0 / 1.86.0	Estilizado modular y preprocesamiento CSS
Enrutamiento	React Router DOM	7.4.0	Navegación entre vistas del portal web

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 178 - 180

Categoría	Librería / Paquete	Versión	Propósito / Función
Cliente WebSocket	Socket.io-client	4.8.1	Recepción de avances de renderizado en tiempo real
HTTP / API	Axios	1.8.4	Peticiones HTTP REST al servidor API
Formularios y validaciones	Formik / Yup	2.4.6 / 1.6.1	Manejo de formularios y validación de campos de entrada
Utilidades de sesión	Jwt-decode	^4.0.0	Decodificación del token JWT en el cliente
Carga de archivos	React-dropzone	14.3.8	Interfaz visual *drag and drop* para archivos 3D

ANEXO B. ESPECIFICACIONES DE INFRAESTRUCTURA, HARDWARE Y CONTENEDORES

Tabla 3

Especificaciones de hardware y sistema operativo de los equipos físicos/host

Componente / Rol	Sistema operativo *host*	CPU / Núcleos	Memoria RAM	Almacenamiento local	Notas de configuración
Servidor Web y API	Debian 11	2 CPU (4 núcleos totales)	6 GB	100 GB HDD	Aloja servicios web, API Node.js y orquestación Docker
Almacenamiento compartido	-	-	-	300 GB HDD	Montaje compartido exportado hacia los nodos de renderizado
Nodos de renderizado (2 nodos)	Windows 11 Pro	2 CPU (4 núcleos totales) + GPU “licenciada”	32 GB / 8 GB de VRAM	50 GB HDD	Cliente de renderizado nativo conectado al NFS compartido

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 179 - 180

Tabla 4

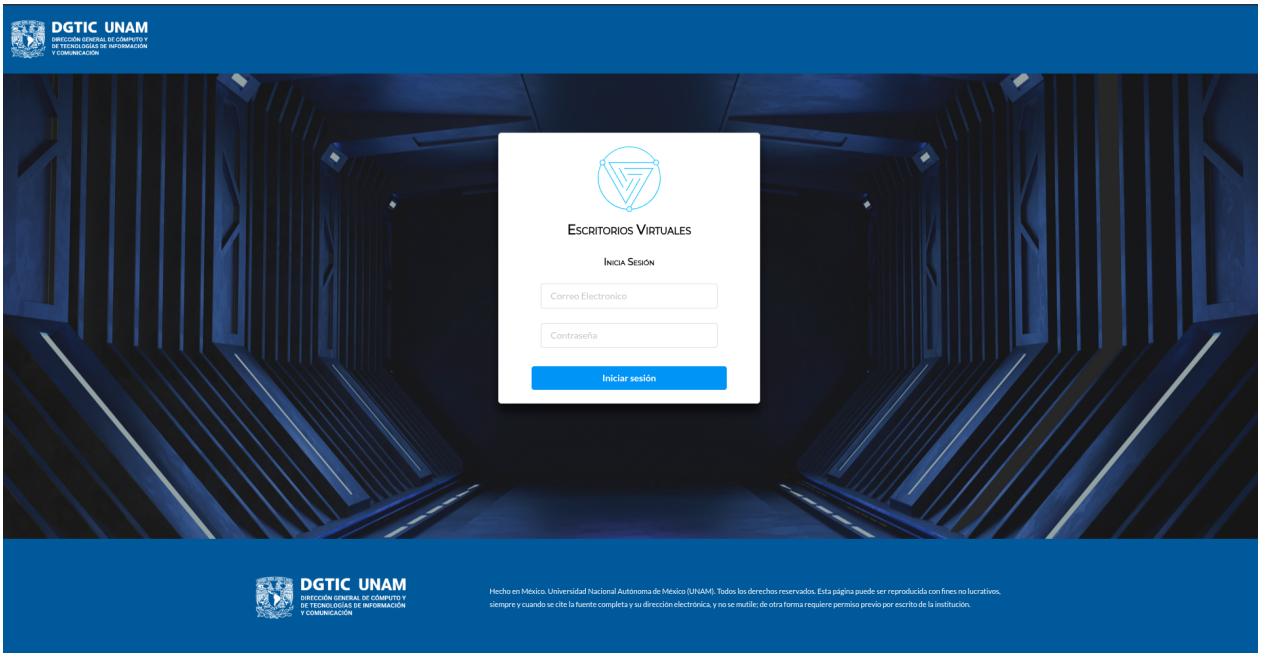
Orquestación de servicios en contenedores (Docker Compose)

Servicio / Contenedor	Imagen base / Origen
afserver	dite/afanasy-server (base debian:trixie-slim, CGRU v3.4.1)
afstats	dite/afanasy-server (Apache2 + PHP/WSGI)
afdb	postgres:latest
grender-mongo	mongo:latest
afrender (Nodo Docker)	dite/afanasy-render

ANEXO C. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA INTERFAZ DEL USUARIO

Figura 3

Pantalla de acceso de usuario

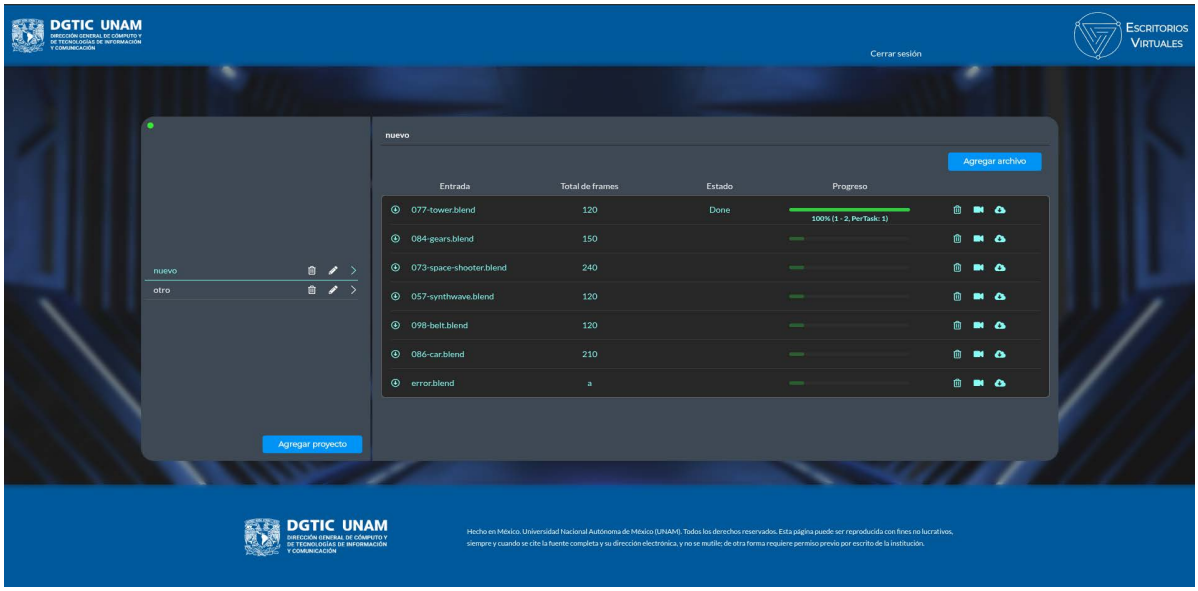


Nota. El usuario puede acceder con correo y contraseña.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.210 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 180 - 180

Figura 4

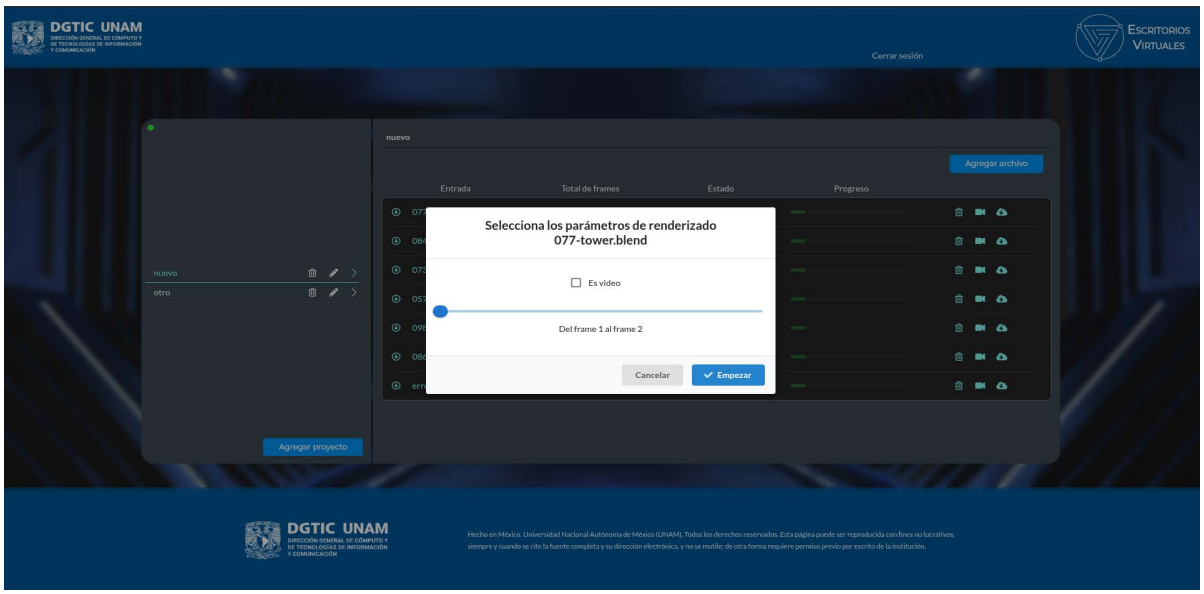
Pantalla de gestión de proyectos



Nota. El usuario cuenta con una vista principal desde la que puede gestionar sus proyectos y sus archivos. Además, puede verificar en tiempo real el avance del renderizado de cada archivo de proyecto.

Figura 5

Configuración de los parámetros de renderizado



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 181 - 198

Automatización de la difusión de la oferta académica mediante un plugin personalizado para WordPress

Automation of the dissemination of the academic offer through a custom WordPress plugin

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Cabello Pérez, J. (2026). Automatización de la difusión de la oferta académica mediante un plugin personalizado para WordPress. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (181 - 198). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196

Jazmín Cabello Pérez

Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación

Universidad Nacional Autónoma de México

jazmin.cabello@unam.mx

ORCID: 0009-0006-4338-6494

Resumen

La administración de la oferta académica de educación continua en la Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación requería que sus plataformas web funcionaran como canales ágiles, precisos y vigentes. Si bien el uso de WordPress ha permitido la descentralización de la publicación de cursos y diplomados, la flexibilidad de esta plataforma resultaba insuficiente para gestionar la difusión en los tiempos disponibles. Al no encontrarse componentes comerciales adecuados para automatizar el proceso de difusión, se optó por desarrollar un componente a la medida.

El desarrollo se centró en la creación de un *plugin* para WordPress que interviniera en el ciclo de vida de las entradas de la oferta académica. La metodología se estructuró en cuatro etapas secuenciales: diseño, configuración, instalación y pruebas. Para la programación del *frontend*, se utilizó JavaScript con el gancho *add_meta_boxes* para incrustar secciones personalizadas en el editor, con capacidad para registrar múltiples combinaciones de horarios y periodos mediante la clonación dinámica de nodos del documento. Durante la configuración de seguridad y persistencia, se implementaron verificaciones de *nonces* y procesos del lado del servidor para almacenar los datos bajo metadatos serializados, aplicando ordenamiento cronológico automático y lógica condicional para alertas de disponibilidad.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 182 - 198

La utilización del *plugin* arrojó indicadores favorables en comparación con la gestión manual. El tiempo de actualización de carteleras académicas se redujo significativamente gracias a la automatización del ordenamiento cronológico, eliminando la necesidad de revisiones diarias. El rendimiento de la plataforma demostró ser altamente eficiente, evitando sobrecargas durante picos de tráfico concurrente. El impacto más relevante se identificó en el flujo de atención al público y conversión de inscripciones, debido a la habilitación de enlaces de correo parametrizados dinámicamente que se activaban cuando la oferta estaba en disponibilidad, estandarizando los mensajes recibidos y optimizando el proceso de registro de aspirantes.

Palabras clave: Complementos modulares, gestión institucional automatizada, interfaces dinámicas.

Abstract

The administration of the academic offer of continuing education in the Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación required its web platforms to function as agile, accurate and up-to-date communication channels. Although the use of WordPress has allowed the decentralization of the publication of courses and diplomas, the flexibility of this platform was insufficient to manage the dissemination within the available timeframe. As no adequate commercial components were found to automate the dissemination process, it was decided to develop a customized component.

The development focused on creating a WordPress plugin that intervenes in the life cycle of the academic offer entries. The methodology was structured into four sequential stages: design, configuration, installation, and testing. For frontend programming, JavaScript was used with the add_meta_boxes hook to embed custom sections in the editor, with the ability to record multiple combinations of schedules and periods by dynamically cloning document nodes. During the security and persistence configuration, server-side nonces and process checks were implemented to store the data as serialized metadata, applying automatic chronological ordering and conditional logic for availability alerts.

The use of the plugin yielded favorable indicators compared to manual management. The time required to update academic notice boards was significantly reduced thanks to the automation of chronological sorting, eliminating the need for daily reviews. The performance of the platform proved to be highly efficient, avoiding overloads during peaks of concurrent traffic. The most relevant impact was identified in the flow of customer service and conversion of registrations, due to the enabling of dynamically parameterized email links that were activated when the offer was available, standardizing the messages received and optimizing the applicant registration process.

Keywords: *Modular plugins, automated institutional management, dynamic interfaces.*

1. INTRODUCCIÓN

La administración y difusión de la oferta académica de educación continua en la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) requiere que las plataformas web institucionales funcionen como canales de comunicación ágiles, precisos y vigentes. Con el uso generalizado de sistemas de gestión de contenidos (CMS, por sus siglas en inglés) como WordPress, la publicación de cursos y diplomados se ha descentralizado, permitiendo que el personal operativo

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 183 - 198

gestione la información directamente. Sin embargo, la flexibilidad nativa de estas plataformas suele ser insuficiente cuando se enfrenta a las lógicas de negocio y a ventanas de tiempo, críticas en la administración educativa universitaria.

En el caso que aquí se presenta, los responsables de las áreas de pedagogía, relaciones comerciales y mercadotecnia, que participan en el proceso de inscripción, enviaban al departamento de Promoción de Servicios de Docencia en TIC la lista de los cursos a difundir e información adicional relevante para permitir el registro de los interesados. A continuación, la titular del departamento receptor, después de validar la información, solicitaba que ésta se incluyera en la página web destinada para la difusión.

La información recibida se vertía en la sección de productos mediante una plantilla de un tema de WordPress, lo que limitaba severamente las opciones de actualización, ya que cualquier modificación debería hacerse en forma manual y generando código HTML. En vista de que las áreas productoras de la información no cuentan con personal con conocimientos en desarrollo web, el proceso se encontraba limitado severamente por la disponibilidad de tiempo del especialista. Además, el proceso de eliminación de oferta caducada requería una supervisión constante, mientras que el envío de numerosas peticiones de modificación resultaba en ventanas de tiempo de actualización muy reducidas y, a veces, en la exhibición de información caduca. Otro desafío importante lo representaba la gestión de múltiples sedes, calendarios y horarios para un mismo evento de capacitación.

Las soluciones comerciales genéricas disponibles en el ecosistema de *plugins* de WordPress presentaron inconvenientes sustanciales en el contexto institucional, puesto que su rigidez estructural y falta de automatización cronológica resultaba en un incremento de fricción en los canales de atención cuando la oferta poseía cupos limitados. El empleo de herramientas de terceros no integradas derivaba en la visualización de datos obsoletos o en cargas de trabajo redundantes que debía realizar el personal operativo responsable de los sitios web. Esto fue particularmente evidente al valorar los *plugins* The Events Calendar, Sugar Calendar, EventON y Amelia, cuyos desempeños no se adaptaron a los requerimientos específicos de operación. En el Anexo B, se ofrece una breve reseña de las características principales de los cuatro *plugins* antes indicados y de las razones por las que su uso fue considerado inadecuado.

Por lo anterior, se decidió desarrollar una herramienta sencilla y funcional que permitiera descentralizar el registro de los periodos académicos y, al mismo tiempo, dar acceso directo a los responsables de la gestión escolar para administrar sus herramientas sin requerir conocimientos técnicos previos en desarrollo web (Ajimati *et al*., 2025). El componente propio a desarrollar sería un *plugin* para WordPress.

Esta alternativa permite incorporar funcionalidades específicas sin modificar el núcleo de la plataforma, lo que facilita su mantenimiento y evita que las personalizaciones sean afectadas durante las actualizaciones. Este enfoque, recomendado por Pressman y Maxim (2020) para estructurar el *software* mediante componentes con responsabilidades bien definidas, no sólo responde a la defensa y estándares de mitigación de vulnerabilidades web señalados por Likaj *et al*. (2021), sino que coincide plenamente con las directrices de la documentación oficial de WordPress, las cuales promueven el desarrollo y uso de *plugins* para ampliar las funcionalidades de la plataforma bajo criterios rigurosos de organización, seguridad, validación y sanitización del código (WordPress.org, 2023, 2024).

El desarrollo a la medida también posibilita concentrarse únicamente en las funciones que realmente requiere el proceso, mantener un mayor control sobre el código y reducir la dependencia de complementos de terceros. Además, al tratarse de un componente propio, puede mantenerse, actualizarse y ampliarse conforme surjan otras necesidades institucionales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 184 - 198

En resumen, el objetivo general del proyecto fue desarrollar e implementar un complemento modular y a la medida para WordPress, orientado a automatizar el ordenamiento cronológico de las ventanas de tiempo académicas y optimizar los flujos de comunicación institucional con los aspirantes durante periodos de alta demanda.

2. DESARROLLO TÉCNICO

El desarrollo del *plugin* se centró en la creación de un componente nativo para WordPress, con el fin de acelerar la publicación de entradas (*posts*) dedicadas a la oferta académica.

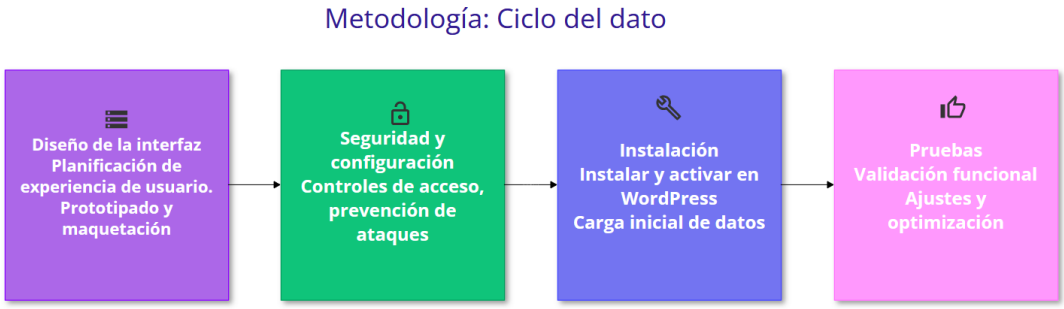
La arquitectura propuesta se orientó a descentralizar la carga de datos sin alterar el núcleo (*core*) del sistema. A través de este desarrollo, se buscó que el personal que realiza la supervisión de la oferta académica dispusiera de controles centralizados e intuitivos en un panel de control del complemento modular, mientras que el usuario final pudiera visualizar una interfaz depurada y con información pertinente, automatizada en tiempo real.

2.1 METODOLOGÍA

La metodología se estructuró en cuatro etapas secuenciales, enfocadas en el ciclo del dato (Möller, 2013): diseño de interfaz, configuración de seguridad, instalación y pruebas de despliegue. Las tareas específicas realizadas durante cada una de las etapas se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Flujo secuencial y ciclo de datos



No se trata de una metodología marco genérica (como Scrum o Waterfall), sino de una metodología técnica y procedimental diseñada a la medida para un proyecto de *software* centrado en datos.

En la etapa de diseño de interfaz, se consideraron dos espacios principales: El área administrativa, donde se registran y actualizan los cursos así como su información asociada, y la interfaz pública, donde los usuarios pueden consultar la oferta disponible por fecha y sede.

Para su programación, se utilizó el gancho (*hook*) nativo *add_meta_boxes* para incrustar una sección personalizada en el editor del CMS. Con el fin de resolver la necesidad de registrar múltiples combinaciones de horarios y periodos por curso, se programó una rutina en JavaScript que manipula el Modelo de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 185 - 198

Objetos del Documento (DOM, por sus siglas en inglés). Al accionar el botón "+ Agregar fecha", el *script* clona dinámicamente un nodo del formulario con campos para las fechas de inicio y fin, días, horarios y una casilla de verificación condicional denominada "Últimos lugares". Asimismo, cada bloque repetible se vincula a un evento (*event listener*) que ejecuta una eliminación manual e inmediata del nodo en el cliente, permitiendo la depuración de datos previa al envío.

En la Figura 2 del Anexo A, se muestra la interfaz desarrollada para que la responsable del departamento capture la información de la oferta académica ya autorizada y sea publicada. Dicha información es la misma que anteriormente se enviaba para su posterior difusión.

La Figura 3 del Anexo A exhibe un ejemplo de la página web en la que aparece publicada la información de sede, fechas y horarios para el evento programado.

Para la etapa de configuración de seguridad y persistencia, el procesamiento de los datos se realizó del lado del servidor mediante la acción *save_post* de WordPress. Como medida de protección frente a solicitudes no autorizadas, se incorporó la verificación de *nonces* (*tokens* aleatorios), mecanismo descrito por Ele (2024) y recomendado como práctica de seguridad para el desarrollo de *plugins* (WordPress, 2026).

Un *nonce* es un valor generado por WordPress que se incorpora a una solicitud para ayudar a comprobar que ésta se originó desde una acción prevista dentro del sitio y permite reducir el riesgo de que determinadas operaciones sean ejecutadas mediante solicitudes externas no autorizadas, particularmente ataques de *Cross-Site Request Forgery* (CSRF).

En el *plugin*, al mostrar el formulario de administración, se genera un campo de seguridad mediante *wp_nonce_field()*. Cuando el usuario guarda o actualiza la información, el servidor recibe nuevamente ese valor y lo verifica mediante *wp_verify_nonce()*. Si la comprobación no es satisfactoria, el procesamiento de los datos se interrumpe y no se ejecuta la actualización correspondiente.

La verificación del *nonce* se complementa con la comprobación de permisos del usuario mediante *current_user_can()* y con la sanitización de los datos recibidos. Esto es importante porque WordPress señala que los *nonces* no deben considerarse mecanismos de autenticación o autorización por sí mismos; deben acompañarse de verificaciones de capacidades para determinar si el usuario tiene permiso para realizar la operación. En el código, esto se materializa precisamente en dos partes:

```
wp_nonce_field(self::NONCE, self::NONCE);
```

Al crear el formulario, WordPress genera el campo de seguridad. Posteriormente, durante el guardado:

```
if (
    !isset($_POST[self::NONCE]) ||
    !wp_verify_nonce(
        sanitize_text_field(wp_unslash($_POST[self::NONCE])),
        self::NONCE
    )
) {
    return;
}
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 186 - 198

Si el *nonce* no existe o no es válido, se ejecuta `return`, por lo que el *plugin* deja de procesar la solicitud antes de modificar los metadatos.

Después, se cuenta con otra protección:

```
if (
    isset($_POST['post_type']) &&
    self::CPT === $_POST['post_type'] &&
    !current_user_can('edit_post', $post_id)
) {
    return;
}
```

Aquí se comprueba que el usuario tenga permisos para editar el registro. Por tanto, es conveniente enfatizar que la protección no depende exclusivamente del *nonce*:

Solicitud → verificación del *nonce* → comprobación de permisos → sanitización → actualización de los datos.

Una vez validada la petición, el sistema procesa el arreglo de datos generado desde la interfaz. Tras comprobar la seguridad del envío, el sistema toma la información del formulario y limpia cada campo de texto para eliminar caracteres o código sospechoso antes de guardarlo.

Finalmente, los bloques eliminados desde la interfaz se excluyen del arreglo y la información resultante se actualiza vía el control automatizado de la visualización de fechas vencidas.

Al tratarse de una estructura de datos organizada como un arreglo, WordPress gestiona su almacenamiento de forma serializada, permitiendo conservar la información asociada a cada entrada bajo una misma clave de metadatos. La serialización consiste en transformar temporalmente una estructura de datos Intel — por ejemplo, un arreglo de PHP— en una representación que pueda almacenarse como un valor dentro de la base de datos. Cuando el *plugin* necesita nuevamente la información, WordPress realiza el proceso inverso y entrega al código el arreglo correspondiente.

En el *plugin* desarrollado, cada emisión se representa conceptualmente de la siguiente manera:

```
$filas = array(array(
   'inicio' => '',
   'fin' => '',
   'dias' => '',
   'horario' => '',
   'ultimos' => '',));
```

A su vez, varias emisiones se integran dentro de un arreglo principal. Una vez que los datos han sido validados y sanitizados, la estructura completa se almacena mediante:

```
update_post_meta(
    $post_id,
    '_ddtic_fh_filas',
    $clean
);
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 187 - 198

No fue necesario programar manualmente la serialización, ya que la API de metadatos de WordPress admite valores serializables y gestiona este proceso durante el almacenamiento y recuperación de los datos. Posteriormente, el *plugin* recupera las filas mediante:

```
$filas = get_post_meta(
    $post_id,
    '_ddtic_fh_filas',
    true);
```

De esta manera, el código vuelve a disponer de la estructura de filas y puede recorrerla para determinar cuáles deben mostrarse en el sitio.

Durante la etapa de instalación y pruebas en el *frontend*, se diseñó código en PHP que recupera el arreglo de metadatos almacenados. Para solucionar la obsolescencia visual de la oferta, el algoritmo aplica un ordenamiento cronológico automático, utilizando funciones de comparación. Éstas contrastan la fecha actual del servidor con el metadato de inicio de cada periodo. De esta manera, se asegura que los cursos vencidos se oculten automáticamente.

Finalmente, el complemento evalúa el estado de la casilla "Últimos lugares". Si esta condición es verdadera, el sistema renderiza un botón de alerta en el cliente y construye dinámicamente un hipervínculo parametrizado bajo el protocolo *mailto*. Las variables de correo institucional, nombre del curso, horarios y sedes se concatenan de forma automática en la cadena de texto. De este modo, al interactuar con el botón, el dispositivo del usuario abre su cliente de correo local con el destinatario, el asunto y el cuerpo del mensaje preconfigurados, lo que elimina posibles errores manuales de transcripción y permite enviar un correo al departamento de Informes y Relaciones asociado al curso para atender la petición de inscripción.

En resumen, la incorporación del *plugin* desarrollado en el proceso de publicación y actualización de la información de los eventos académicos resultó en la redistribución de funciones realizadas. La Tabla 1 muestra la manera en que se ha realizado esta redistribución.

Tabla 1

Relación de funciones de modificación de la oferta académica relacionadas con los responsables de realizarlas

Función	Acción de la persona administradora	Acción automatizada por el *plugin*
Registrar una emisión	Información que captura: inicio, término, días y horario	Almacena los datos mediante las funciones de WordPress
Registrar sede	Información que captura: sede	Recupera el dato para mostrarlo en la cartelera
Registrar correo	Información que captura: correo de contacto	Lo utiliza para construir el enlace de contacto
Vigencia de una emisión	Información que captura: fecha de término	Compara la fecha y deja de mostrar la emisión cuando pierde vigencia

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 188 - 198

Función	Acción de la persona administradora	Acción automatizada por el *plugin*
"Últimos lugares"	Decide la condición y selecciona la casilla en la interfaz	Muestra el botón correspondiente en la página web
Correo de "Últimos lugares"	No se programa manualmente el enlace	Genera el `mailto:` con los datos de la emisión
Actualizar una emisión	Modifica los campos necesarios	Refleja la información actualizada en la presentación pública
Retirar manualmente una fecha vencida	Ya no es necesario como operación habitual	El *plugin* controla su visualización según la fecha de término

Uso de inteligencia artificial en el desarrollo tecnológico

Durante el proceso de diseño y desarrollo del complemento, se emplearon herramientas de inteligencia artificial generativa como apoyo para la generación y optimización de fragmentos de código, la revisión de sintaxis y la consulta de buenas prácticas de programación. Esta decisión se sustenta en evidencia empírica reciente que documenta mejoras significativas en la velocidad de ejecución de tareas de programación cuando se utilizan asistentes de IA como apoyo técnico (Peng *et al*., 2023). Dichas herramientas fueron utilizadas exclusivamente como asistentes técnicos dentro del proceso de desarrollo, sin sustituir el criterio profesional de la persona especialista.

Las decisiones relacionadas con la arquitectura de *software*, el diseño funcional, la integración con WordPress, la validación de requisitos, las pruebas de funcionamiento y la implementación en el entorno institucional fueron realizadas, probadas, valoradas y, en caso de ser necesario, corregidas.

Específicamente, se utilizó Claude 3.7 Sonnet para revisar fragmentos de código PHP, GPT-5 como apoyo en el análisis de los requerimientos funcionales, en la revisión de la estructura inicial del *plugin* y para revisar también fragmentos de código en PHP. Asimismo, se empleó el modelo Gemini 3.1 para el desarrollo armónico de estilos gráficos de los datos publicados en la página web de los cursos.

3. RESULTADOS

La integración del *plugin* al flujo de trabajo resultó en un proceso más eficiente en comparación con los esquemas de gestión manuales precedentes. El primer resultado favorable consistió en la reducción del tiempo requerido para la actualización de las carteleras académicas, al permitir modificar la información sin alteración manual del código y mediante la eliminación de las revisiones diarias de vigencia, gracias al ordenamiento cronológico automatizado.

Como referencia, entre enero y agosto 2026, se recibieron 78 solicitudes de actualización, correspondientes a modificaciones de fechas y horarios, retiro de oferta no vigente y colocación de la leyenda "Últimos lugares". De ellas, 58 (74%) fueron resueltas el mismo día de la petición, 15 (19%) al día siguiente, 4 (5%) en un periodo de dos días y una (1%) en un periodo de tres días. Esto se debió a que las actualizaciones dependían no sólo del tiempo efectivo requerido para modificar el código en WordPress, sino también de la disponibilidad de la persona especialista, quien, al tener que realizar otras actividades, no siempre estaba en posibilidad de atender de forma inmediata la petición.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 189 - 198

La actualización manual de la oferta, debido a la necesidad de modificar el código en WordPress, tardaba entre 5 y 20 minutos. Así, el tiempo total destinado a la actualización manual de las 78 solicitudes ascendió a 1,130 minutos (casi 19 horas). En contraste, con el uso del *plugin*, que requiere 4 minutos y 38 segundos (4.63 minutos) para realizar una modificación en los casos más laboriosos, se habría podido lograr en 361.4 minutos (poco más de 6 horas). Adicionalmente, con el empleo del *plugin,* también se habrían ahorrado los 26 días de espera forzosa cuando no se encontraban en posibilidad de atender las peticiones.

En términos de rendimiento de la plataforma web, el uso de arreglos serializados dentro de la arquitectura nativa de metadatos también resultó benéfico. Las consultas a la base de datos relacional no ocasionaron retrasos ni sobrecargas durante los picos de tráfico concurrente, puesto que el sistema evitó la creación de múltiples filas de registros huérfanos, gracias a la depuración inmediata que ejecuta el control de eliminación manual en el panel de edición.

El impacto más relevante se identificó en el flujo de atención al público. La habilitación de los enlaces *mailto:* dinámicos parametrizados bajo la condición de "Últimos lugares" estandarizó por completo los mensajes recibidos en el correo institucional de contacto. Al comparar los históricos de atención, se constató la erradicación de solicitudes con datos ambiguos, incompletos o erróneos en la especificación de horarios y sedes, lo que aceleró la velocidad de respuesta de los centros gestores de la capacitación.

3.1 RETOS

El desarrollo de *plugins* a la medida para WordPress, sobre todo cuando se elaboran por primera vez, presenta retos especiales. Para empezar, se requiere que el programador comprenda la idiosincrasia de WordPress, en particular el sistema de *hooks*, con sus distintos *actions* y *filters*. Por ejemplo, decidir sobre si usar *init*, *wp_loaded* o *admin_init* no es obvio para el desarrollador primerizo y sólo se logra la correcta comprensión mediante reiterados intentos y pruebas.

Otro reto al que hubo que enfrentarse fue al conflicto de nombre que se deriva de que todos los *plugins* comparten el mismo espacio global de PHP, lo que, en el presente caso, derivó en modificaciones no intencionadas a los estilos, dado que en algunas ocasiones los nombres de las variables definidas en el tema coincidieron con las empleadas al desarrollar el *plugin*. Para evitar este inconveniente, se optó por usar prefijos únicos.

La seguridad del sitio también representa un reto muy serio al agregar un *plugin* personalizado. La sanitización de las entradas, el uso de *nonces* para proteger los formularios, el escapado de datos de salida y la verificación de permisos no son aspectos opcionales, aunque adquirir estos conocimientos requiere de algunos tropiezos durante el desarrollo.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo del componente reseñado permitió constatar que la creación de *software* nativo, modular y a la medida representa una solución eficiente y viable para resolver necesidades específicas de comunicación e inscripción en las plataformas web cuando no se tienen alternativas comerciales adecuadas. El acoplamiento correcto de las APIs de WordPress con *scripts* de manipulación dinámica

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 190 - 198

del DOM hizo posible centralizar operaciones complejas de gestión del tiempo en una sola pantalla administrativa de baja complejidad visual.

Se verificó el cumplimiento del objetivo general, demostrando que la automatización del ordenamiento cronológico elimina completamente la exposición de información académica obsoleta en el portal público. De igual manera, la integración de lógica condicional basada en metadatos para activar alertas de disponibilidad demostró ser una estrategia altamente efectiva para mitigar la fricción en la interacción, entendida como el esfuerzo adicional que las personas deben realizar para completar una tarea: esto favorece una experiencia de usuario más eficiente (Norman, 2013; Nielsen, 2024) y facilita un canal directo de comunicación que resguarda la precisión de los datos transmitidos entre el usuario y la institución.

Finalmente, algunas recomendaciones que se consideran pertinentes para encarar los primeros desarrollos de *plugin* para WordPress son: leer el manual oficial de desarrollo de *plugins* de la página web para desarrolladores WordPress.org (2023); aplicar seguridad desde el inicio del desarrollo y no esperar al final del proyecto; revisar código de *plugins* bien hechos para aprender patrones; y comenzar con el desarrollo de *plugins* pequeños.

Para futuros desarrollos en dependencias universitarias con problemáticas similares, se sugiere adoptar esquemas de almacenamiento serializado para proteger el rendimiento de los servidores y documentar los flujos de asistencia con inteligencia artificial bajo principios de transparencia. Este tipo de arquitectura modular no sólo soluciona los retos de la operación cotidiana, sino que establece un estándar escalable apto para integrarse con sistemas institucionales de control escolar mayores.

REFERENCIAS

Ajimati, M. O., Carroll, N., y Maher, M. (2025). Adoption of low-code and no-code development: A systematic literature review and future research agenda. *Journal of Systems and Software*, 222, 112300. https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112300

Ele, B. I. (2024). An enhanced mechanism for protecting web applications from Cross Site Request Forgery (CSRF). *British Journal of Computer, Networking and Information Technology, 7*(1), 1–17. https://doi.org/10.52589/BJCNIT-R5YYKXKA

Likaj, X., Khodayari, S., y Pellegrino, G. (2021, 6-8 de octubre). *Where We Stand (or Fall): An Analysis of CSRF Defenses in Web Frameworks* [ponencia]. RAID '21: 24th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses, San Sebastián, España. https://doi.org/10.1145/3471621.3471846

Möller, K. (2013). Lifecycle models of data-centric systems and domains. *Semantic Web*, *4*(1), 67–88. https://doi.org/10.3233/sw-2012-0060

Nielsen, J. (2024). *10 usability heuristics for user interface design*. Nielsen Norman Group. https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/

Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. Basic Books.

Peng, S., Kalliamvakou, E., Cihon, P., y Demirer, M. (2023). *The impact of AI on developer productivity: Evidence from GitHub Copilot*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2302.06590

Pressman, R. S., y Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9.ª ed.). McGraw-Hill.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 191 - 198

WordPress. (2023). *Metadata*. WordPress Developer Resources. https://developer.wordpress.org/plugins/metadata/

WordPress. (2023). *Validating Data*. WordPress Developer Resources. https://developer.wordpress.org/apis/security/data-validation/

WordPress.org. (2023). *Plugin Handbook*. WordPress Developer Resources. https://developer.wordpress.org/plugins/

WordPress.org. (2024). *Detailed Plugin Guidelines*. WordPress Developer Resources. https://developer.wordpress.org/plugins/wordpress-org/detailed-plugin-guidelines/

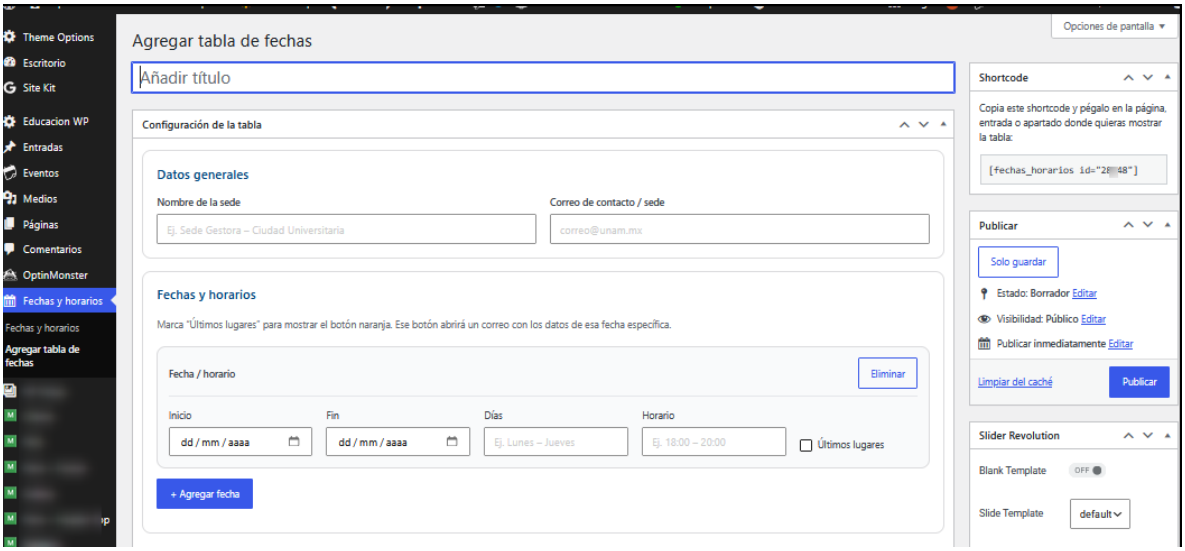
WordPress.org. (2026). *Security*. Plugin Developer Resources. https://developer.wordpress.org/apis/security/

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 192 - 198

ANEXO A. INTERFAZ DESARROLLADA

Figura 2

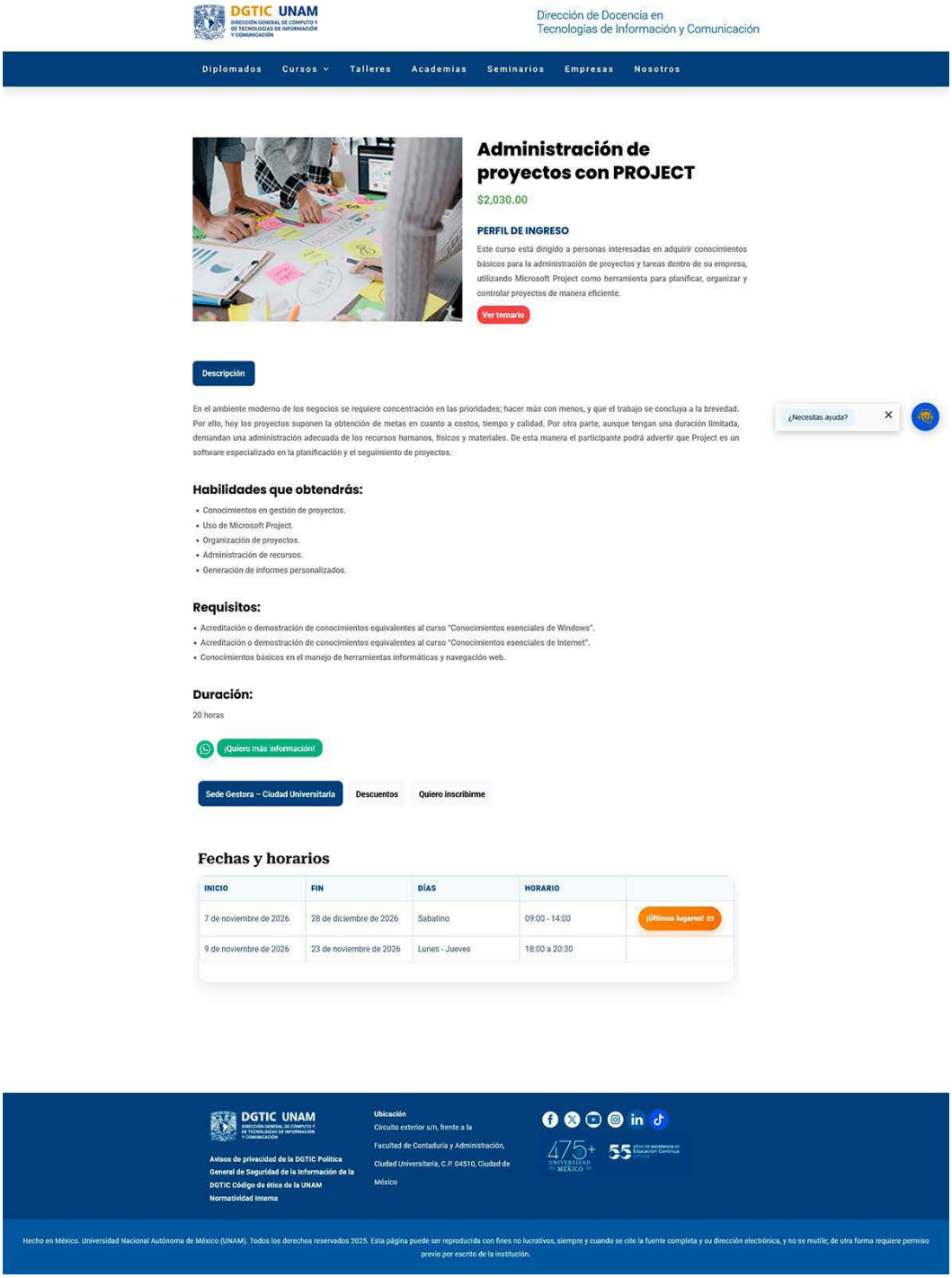
Interfaz de captura de fechas y horarios en el panel de administración



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 193 - 198

Figura 3

Publicación de oferta disponible con la opción de últimos lugares (vista de usuario final)



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 194 - 198

ANEXO B. REVISIÓN DE PLUGINS COMERCIALES PARA LA GESTIÓN DE FECHAS Y EVENTOS EN WORDPRESS

1. Propósito del análisis

Antes de desarrollar un *plugin* a la medida para la publicación de fechas y horarios de las actividades académicas, se consideró la posibilidad de utilizar *plugins* existentes para WordPress.

El requerimiento institucional que debería cumplir el *plugin* consistía en incorporar, dentro de páginas web ya existentes, un componente con las siguientes responsabilidades concretas:

1. Registrar varias emisiones de una actividad académica
2. Mostrar fecha de inicio y término
3. Indicar días y horario
4. Identificar la sede gestora
5. Ocultar automáticamente fechas vencidas
6. Señalar determinadas emisiones como “Últimos lugares”
7. Proporcionar un contacto directo con la sede responsable

La revisión tuvo como finalidad determinar si una herramienta disponible comercialmente podía satisfacer los requisitos identificados sin incorporar al sitio web una solución con funcionalidades significativamente mayores a las necesarias.

En el análisis se consideraron cuatro alternativas: The Events Calendar, Sugar Calendar, EventON y Amelia. En una primera revisión documental, se encontró que las principales capacidades y características de los 4 *plugins* giraban alrededor de:

- Administración de eventos y fechas
- Posibilidad de manejar eventos recurrentes o múltiples fechas
- Inserción del contenido dentro de páginas existentes
- Visualización de eventos próximos
- Personalización de la interfaz
- Funcionalidades adicionales incorporadas
- Dependencia de licencias o extensiones
- Adecuación al requerimiento específico del proyecto

Para obtener información objetiva de primera manera, se procedió a instalarlos y probarlos. El objetivo no fue determinar cuál de estos productos es el mejor en términos generales, sino establecer su correspondencia con el requerimiento institucional.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 195 - 198

2. The Events Calendar

The Events Calendar es una solución orientada a la administración y publicación de eventos en WordPress. Dispone de herramientas para crear eventos, organizarlos y presentarlos mediante diferentes vistas de calendario. Su ecosistema incorpora funcionalidades avanzadas mediante versiones y extensiones adicionales, entre ellas, eventos recurrentes, filtrado, registro de asistentes y venta de entradas.

Se trata de una alternativa apropiada cuando el sitio requiere que los eventos sean una parte importante de su estructura de información, especialmente cuando se necesita un calendario completo, eventos recurrentes, categorías, filtros, registro de participantes o venta de entradas. Algunas capacidades avanzadas, como la recurrencia, también forman parte del ecosistema comercial del producto.

3. Sugar Calendar

Sugar Calendar es un *plugin* especializado en la creación y administración de calendarios y eventos dentro de WordPress. Entre sus características, se encuentran la creación de eventos, calendarios personalizados, eventos recurrentes, etiquetado y filtrado, importación de calendarios, integración con calendarios externos y diferentes formas de presentación.

Además, sus versiones comerciales incorporan características relacionadas con RSVP (peticiones de confirmación), venta de entradas e integraciones. La recurrencia permite configurar patrones diarios, semanales, mensuales o anuales y establecer condiciones más específicas de repetición.

Esta funcionalidad resulta especialmente útil para organizaciones que administran eventos periódicos y necesitan automatizar su generación.

4. EventON

EventON es otro *plugin* especializado en calendarios para WordPress. Su propuesta se concentra especialmente en la presentación visual de eventos y ofrece numerosas opciones de configuración. Permite administrar información como fechas, ubicaciones, organizadores y categorías, además de eventos repetitivos. También utiliza *shortcodes* para insertar calendarios y diferentes presentaciones dentro de las páginas del sitio.

Su documentación muestra que el producto dispone de numerosas posibilidades de configuración y puede ampliarse mediante complementos para funciones como RSVP, entradas y otras capacidades relacionadas con la gestión integral de eventos.

Esta flexibilidad representa una ventaja cuando el objetivo es construir un sistema completo de eventos con diferentes vistas y posibilidades de interacción.

5. Amelia

Amelia constituye una alternativa con un alcance todavía mayor, ya que está orientado principalmente a la administración de reservaciones, citas y eventos. En el ámbito de eventos, permite manejar calendarios, listas de eventos, reservaciones, asistentes, capacidad, precios, eventos recurrentes y otras funciones relacionadas con la inscripción.

También dispone de *shortcodes* para presentar listas o calendarios de eventos y permite filtrar eventos futuros, pasados o correspondientes a determinados periodos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 196 - 198

Una característica relevante es que Amelia diferencia entre eventos recurrentes y eventos de varios días. En los primeros, genera ocurrencias independientes; en los segundos, varias fechas forman parte de un mismo evento.

Esta arquitectura resulta útil en escenarios en los que la organización necesita administrar inscripciones, cupos, asistentes, pagos o reservaciones desde WordPress.

6. Análisis de los *plugins*

Como se ha visto, existen alternativas consolidadas capaces de administrar eventos en WordPress. Por tanto, la decisión del desarrollo de un *plugin* propio no se tomó con base en la inexistencia de herramientas comerciales, sino en su idoneidad para resolver el problema en el marco de los requerimientos definidos.

Tabla 2

Comparación de capacidades de plugins revisados y los requeridos para el plugin requerido

Criterio	The Events Calendar	Sugar Calendar	EventON	Amelia	*Plugin* desarrollado
Gestión de eventos	Sí	Sí	Sí	Sí	Limitado a fechas de actividades
Múltiples fechas / recurrencia	Sí, según funcionalidad	Sí	Sí	Sí	Sí, mediante filas independientes
Calendario general	Sí	Sí	Sí	Sí	No requerido
Reservaciones	Mediante productos/ extensiones del ecosistema	Según plan/ extensiones	Mediante extensiones	Sí	No
Venta de entradas	Disponible dentro del ecosistema	Disponible	Mediante extensiones	Sí	No
Gestión de asistentes	Disponible según componentes utilizados	Disponible según plan	Mediante extensiones	Sí	No
Inserción mediante *shortcode*	Sí	Dispone de mecanismos de inserción	Sí	Sí	Sí
Ocultamiento de fechas vencidas	Configurable según herramienta/ vista	Gestión de eventos y calendarios	Puede trabajar con eventos pasados/ futuros	Permite filtrar eventos futuros/ pasados	Automático y específico

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 197 - 198

Criterio	The Events Calendar	Sugar Calendar	EventON	Amelia	Plugin desarrollado
Botón "Últimos lugares" asociado a correo	Requeriría configuración o adaptación específica	Requeriría adaptación	Requeriría adaptación	Su modelo está orientado a reservas	Incorporado directamente
Interfaz específica solicitada	Requiere personalización	Requiere personalización	Requiere personalización	Requiere personalización	Diseñada específicamente
Alcance funcional	Amplio	Amplio	Amplio	Muy amplio	Acotado al requerimiento

Como puede comprobarse al revisar la Tabla 2 de este Anexo, las alternativas estudiadas están orientadas, en distintos grados, hacia la administración integral de eventos: calendarios, recurrencias, vistas especializadas, asistentes, reservaciones, entradas, pagos o integraciones externas. En contraste, el requerimiento institucional es más puntual y, por así decirlo, más modesto.

En el caso del *plugin* The Events Calendar, su incorporación implicaba utilizar una plataforma completa de administración de eventos con una estructura funcional mayor a la requerida, dado que, en la plataforma institucional, los cursos ya cuentan con sus propias páginas y únicamente era necesario incorporar un componente para administrar sus distintas fechas de impartición.

Aunque Sugar Calendar podía cubrir parte de las necesidades, su alcance funcional era mayor al requerido para el componente planteado, debido a que las fechas de los cursos no necesariamente responden a un patrón recurrente. Una misma actividad académica puede impartirse en periodos variables y con horarios diferentes. Además, el propósito no es construir un calendario general de eventos, sino administrar un conjunto reducido de datos asociado a la página de cada actividad.

El empleo de EventON habría requerido configurar o adaptar una solución más amplia para reproducir una interfaz considerablemente más sencilla, ya que era suficiente una tabla integrada visualmente con la página del curso, sin generar una experiencia de calendario independiente.

Finalmente, el *plugin* Amelia no se consideró adecuado puesto que habría sido necesario integrar un sistema de reservaciones completo, con componentes administrativos y de interfaz que no serían aprovechados. Esto obedece a que la inscripción de los participantes no debe ser administrada por el componente desarrollado; únicamente se requería publicar las fechas vigentes y proporcionar un medio de contacto con la sede cuando existieran últimos lugares.

Por lo anterior, se optó por implementar un *plugin* de alcance reducido que utilizara mecanismos nativos de WordPress —*Custom Post Type*, metadatos, *hooks* y *shortcode*— y cuya interfaz pudiera ajustarse directamente a la estructura visual existente.

Se reitera que esta decisión no implica que los *plugins* comerciales analizados sean ineficientes. Por el contrario, pueden resultar más convenientes cuando los requerimientos incluyan administración integral de eventos, recurrencias complejas, venta de entradas, registro de asistentes, reservaciones, pagos, sincronización con calendarios externos o gestión de eventos a mayor escala.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.196 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 198 - 198

7. Conclusión

La exploración de cuatro *plugins* alternativos permitió ampliar los elementos considerados antes de optar por el desarrollo a la medida.

The Events Calendar, Sugar Calendar, EventON y Amelia ofrecen soluciones maduras para diferentes escenarios de administración de eventos. Sin embargo, el problema identificado requería una funcionalidad más acotada y estrechamente integrada con las páginas existentes de cursos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 199 - 216

Reimplementación de contenido de CMS Joomla a WordPress sin migración directa

Reimplementation of Joomla CMS content in WordPress without direct migration

Información del reporte:

Licencia Creative Commons

El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Vargas Zermeño, E. (2026). Reimplementación de contenido de CMS Joomla a WordPress sin migración directa. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 4*(4), páginas (199 - 216). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209

Edgar Vargas Zermeño
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
talos@unam.mx
ORCID: 0009-0006-4772-653X

Resumen

Mantener el contenido de un sitio web requiere atención a diversas tareas y, cuando se utiliza un sistema de gestión de contenidos (CMS, por sus siglas en inglés), conlleva responsabilidades adicionales. Uno de los desafíos es la actualización tecnológica oportuna, ya que es necesario mantener las herramientas digitales en la última versión disponible para mitigar vulnerabilidades de seguridad, garantizar la compatibilidad con los lenguajes de servidor más recientes y optimizar el rendimiento. Es frecuente que un sitio evolucione en su contenido a la vez que se vuelve técnicamente obsoleto. En este contexto, se presentó el caso de un sitio web desarrollado con Joomla bajo esas características que además requirió un nuevo enfoque en la arquitectura de la información y el diseño web.

El proyecto se resolvió implementando un nuevo sistema de gestión de contenido tras evaluar y utilizar una de las tres plataformas líderes del sector. Se diseñó una arquitectura de la información con una navegación bien estructurada e intuitiva, se proporcionó una nueva apariencia para la interfaz de usuario y se capitalizaron las oportunidades de mejora en SEO y accesibilidad.

Se desarrolló exitosamente un sitio web con información jerárquica y navegación intuitiva. Se usó un CMS que admite actualizaciones tecnológicas, a la vez que permite la integración de nuevas secciones y elementos conforme

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 200 - 216

evolucionan las necesidades de comunicación. El producto resultante fue satisfactorio y funcionó de manera eficiente.

Palabras clave: Arquitectura de la información, diseño web, sistema de gestión de contenidos.

Abstract

Maintaining website content involves various tasks, and the use of a CMS entails additional responsibilities. One challenge is ensuring timely technological updates, as digital tools must be kept at the latest available version to mitigate security vulnerabilities, ensure compatibility with the latest server-side languages, and optimize performance. It is common for a site's content to evolve while the site itself becomes technically obsolete. This was the case for a Joomla-based website that required not only technical modernization but also a fresh approach to information architecture and web design.

The project was resolved by implementing a new content management system, selected after evaluating the industry's three leading platforms. The solution featured an information architecture with well-structured, intuitive navigation and a redesigned user interface, while also capitalizing on opportunities to improve SEO and accessibility.

The result was a successful website featuring hierarchical information and intuitive navigation. The chosen CMS supports technological updates and allows for the integration of new sections and elements as communication needs evolve. The final product met expectations and performed efficiently.

Keywords: *Information architecture, web design, content management system.*

1. INTRODUCCIÓN

Además de las tareas sustantivas de la UNAM como institución pública, se identificó la pertinencia de fortalecer la vinculación entre las entidades académicas y los diversos sectores de la sociedad para acercar los beneficios del quehacer institucional a la población.

Como parte de esta labor, surgió la necesidad de modernizar el sitio web de una institución independiente de la UNAM bajo dos líneas: replantear el sistema de gestión de contenidos y renovar la apariencia visual del sitio. El proyecto se abordó mediante un enfoque de diseño centrado en las personas usuarias (Pomaquero Yuquilema *et al*., 2019) en combinación con varios criterios de rediseño (Hann, 2024).

En este contexto de colaboración entre las dos organizaciones involucradas, y con la participación de sus niveles directivos, se logró transferir conocimiento a la institución receptora del proyecto. Asimismo, se contó con la participación cercana de sus responsables técnicos, quienes, una vez terminado el desarrollo, se encargaron del mantenimiento del sitio.

El objetivo del proyecto consistió en migrar de forma indirecta el contenido del sitio existente hacia una nueva implementación, mediante una estructuración eficiente de los espacios de información para proporcionar a las personas usuarias una interacción visual con una curva de aprendizaje reducida y una interfaz intuitiva (Yeralan, 2024); todo esto sobre un sistema de gestión de contenidos (CMS, por sus siglas en inglés) confiable, mantenible y escalable.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 201 - 216

2. DESARROLLO TÉCNICO

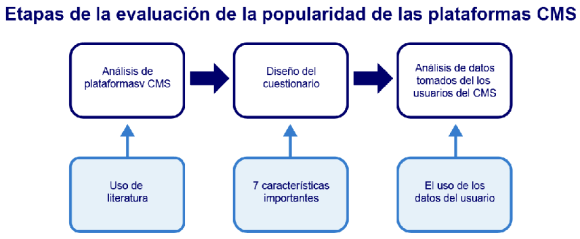
La primera decisión consistió en elegir el CMS sobre el que se desarrollaría el proyecto. Para ello, se consideraron las tres plataformas más populares y documentadas. Una posibilidad inicial fue reutilizar el CMS Joomla, pero la alternativa se descartó debido a las dificultades asociadas con la actualización de la versión existente (Joomla! Project, 2021) y a la necesidad de realizar una migración mayor (Joomla! Project, 2023). El problema se volvería a presentar a futuro en caso de que se buscara migrar otra vez. Adicionalmente, el deseo de la institución receptora fue generar otra arquitectura de la información con nuevas secciones y reagrupación de las existentes, por lo que Joomla no fue la opción elegida.

Una vez descartada esta alternativa, se evaluó el uso de Drupal. Si bien este CMS es robusto y confiable, también conlleva una curva de aprendizaje alta, un modelado de datos con taxonomías intrincadas y una mayor complejidad de manejo y uso (Iqbal *et al.*, 2020). Estas características presentaban obstáculos para hacer una transición fluida desde Joomla. Aunque Drupal destaca por sus capacidades de seguridad, el sitio no maneja datos sensibles como datos personales extensos y cuentas bancarias.

Por su parte, WordPress, además de marcar tendencia por varios años y tener una popularidad que provoca la abundancia de extensiones y documentación actualizada, también dispone una curva de aprendizaje amigable, un modelado de datos simple, mantenimiento sencillo y escalabilidad (Iqbal *et al.*, 2020). Además de éstas, se pueden apreciar otras características destacadas de WordPress de forma comparativa en la Figura 1.

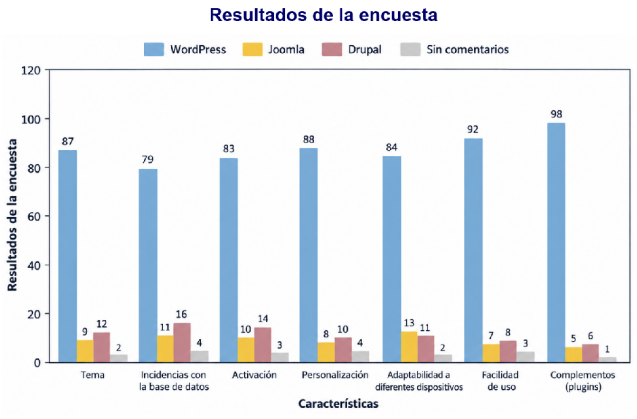
Figura 1

Evaluación de características comunes en los CMS más populares



Encuesta basada en resultados (WordPress, Joomla, Drupal)

Variables	WordPress		Joomla Sí		Drupal		Sin comentarios	
	Sí	%	Sí	%	Sí	%	Sí	%
Tema	87	79	9	8.1	12	10.9	2	1.8
Incidencias con la base de datos	79	71.8	11	10	16	14.5	4	3.6
Activación	83	75.4	10	9	14	12.7	3	2.7
Personalización	88	80	8	7.2	10	9	4	3.6
Adaptabilidad a diferentes dispositivos	84	76.3	13	11.8	11	10	2	1.8
Facilidad de uso	92	83.6	7	6.3	8	7.2	3	2.7
Complementos (plugins)	98	89	5	4.5	6	5.4	1	0.9



Nota. Figura elaborada con base en las gráficas de datos de Iqbal *et al.* (2020).

Una vez decidido el CMS, fue necesario reestructurar el sitio y elaborar una propuesta que pudiera ser validada con base en criterios sólidos; sólo después de esta etapa, se abordó el diseño. Ofrecer una o

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 202 - 216

dos propuestas de apariencia estrechaba el margen de elección para ubicar el enfoque estilístico que la institución requería; por otro lado, presentar más propuestas impactaba en el tiempo agendado. Por lo anterior, se acordó la entrega de tres propuestas de diseño como un número de opciones suficiente para optar por la que se ajustara a las necesidades de la institución.

Se implementó el nuevo desarrollo, se integró el diseño elegido, se logró su despliegue en el servidor de producción, se realizaron pruebas y se capacitó al personal a cargo hasta la liberación del sitio.

2.1 METODOLOGÍA

La decisión de rediseñar un sitio web es importante, pues implica tiempo y recursos, por lo cual es de gran relevancia observar factores concretos que indiquen cuándo es momento de renovar (Hann, 2024). Los principales indicadores de esto son:

- **Diseño desactualizado**: un sitio web anticuado puede dar la impresión de que la institución no se mantiene al día, lo que puede afectar la confianza de las personas usuarias.
- **Mala experiencia de usuario**: si las personas usuarias tienen dificultades para navegar, encontrar información o completar tareas sencillas, se corre el riesgo de que el sitio web caiga en desuso.
- **Tasas de conversión bajas**: disminución constante en las conversiones.
- **No amigable con dispositivos móviles**: de lo contrario, se corre el riesgo de afectar la experiencia de las personas que visitan el sitio.
- **Tiempos de carga lenta**: si la carga tarda demasiado, es probable que las personas usuarias abandonen la página antes de ver el contenido.
- **Rendimiento SEO inadecuado**: prácticas de SEO obsoletas o falta total de SEO.
- **Renovación de identidad**: la coherencia en los mensajes y elementos visuales como imagen de la institución es fundamental para crear y mantener la identidad.

El sitio web de la institución receptora presentaba las situaciones descritas con anterioridad en mayor o menor medida. Como ocurre en sitios de organizaciones que difunden información sobre educación, ciencia, tecnología e innovación, el sitio de la institución receptora se caracteriza por contener temas diversos, personas usuarias heterogéneas y contenidos producidos por diversas personas. En consecuencia, la interfaz gráfica requerida debía priorizar la facilidad de uso y considerar la accesibilidad (Albornoz *et al*., 2024) para evitar un resultado complejo, pues la información se vuelve difícil de manejar especialmente en campos especializados (Yeralan, 2024).

Para lograr la usabilidad del sitio, se utilizó un método de diseño iterativo con prototipado rápido, alineado con el ciclo de análisis, diseño, implementación y evaluación (Albornoz *et al*., 2024). Para lograr que la interfaz gráfica de usuario tuviera un atractivo para las personas usuarias, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos (Yeralan, 2024):

- La interacción visual con iconos y menús.
- Una curva de aprendizaje reducida para tareas comunes.
- Un acceso intuitivo para las personas usuarias.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 203 - 216

Asimismo, se consideró que un incremento de la complejidad tiende a resultar en un interfaz recargada, abrumadora e ineficiente para las personas usuarias.

2.1.1 REDISEÑO DE ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN Y APARIENCIA VISUAL

El rediseño no descuidó las mejores prácticas ni los principios teóricos, como son la adopción de una arquitectura amplia y poco profunda, la reorganización de las categorías del sitio, la organización jerárquica en el contenido para lograr un diseño claro y coherente. Fue prioritario que la página de inicio no se llenara nuevamente de enlaces desordenados como aparecían en el diseño original que muestra la Figura 2.

Figura 2

Detalles en la página inicial del sitio original

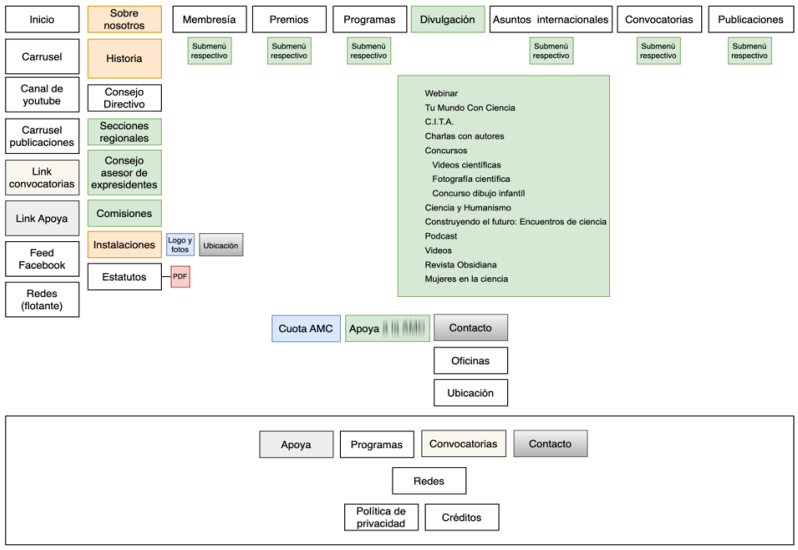


Se procedió a inventariar y acotar los vínculos de los dos menús y enlaces en pie del sitio para dejar un solo menú y enlaces mejor ordenados. La Figura 3 ilustra la estructura propuesta.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 204 - 216

Figura 3

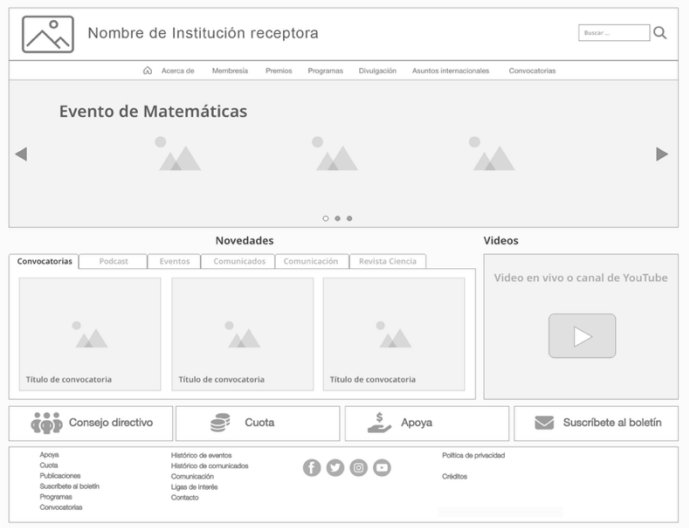
Propuesta inicial de jerarquía taxonómica de la información para el sitio de la institución receptora



Se avanzó sobre esta base para proceder a simular la navegación con un prototipo interactivo en línea. En la Figura 4, se presenta el prototipo de la página de inicio. Además, en el Anexo A se presentan todos los prototipos elaborados durante esta etapa. El planteamiento consideró las buenas prácticas: un solo menú de navegación de nivel superior simple, modelado de la arquitectura usada en portales destacados de sitios similares, coherencia y acceso a las páginas en pocos clics (Chi, 2024).

Figura 4

Página de inicio en el prototipo de baja fidelidad

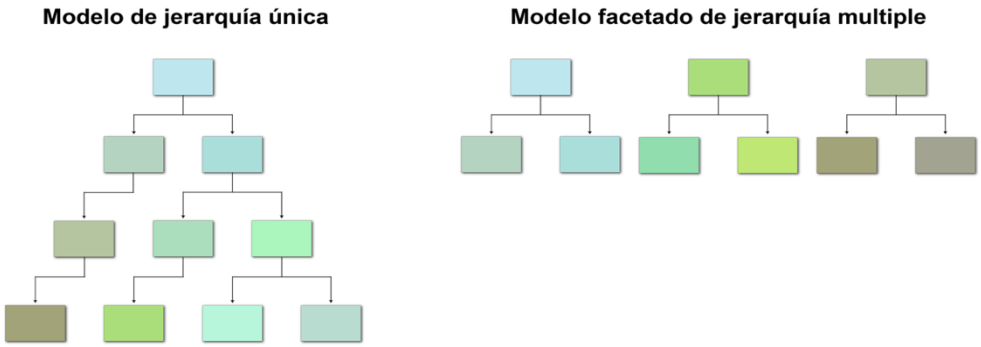


https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 205 - 216

Se proyectó la organización de la información de la página de inicio en secciones, bloques y menús, simplificando los conceptos en una organización jerárquica de categorías. La taxonomía se convirtió en el punto de partida del proceso de diseño, estructurando el sitio web para que las personas usuarias se sientan cómodas al navegar por el entorno (Yeralan, 2024). Los elementos de navegación están pensados para ver el contenido asociado en categorías específicas a través de los vínculos dispuestos en el contenido. En la Figura 5, se ejemplifica el uso de información facetada. A partir de esto, el CMS se encargará de usar metadatos para favorecer los listados que arrojen las búsquedas hechas por las personas usuarias.

Figura 5

Modelos jerárquicos de presentación de la información

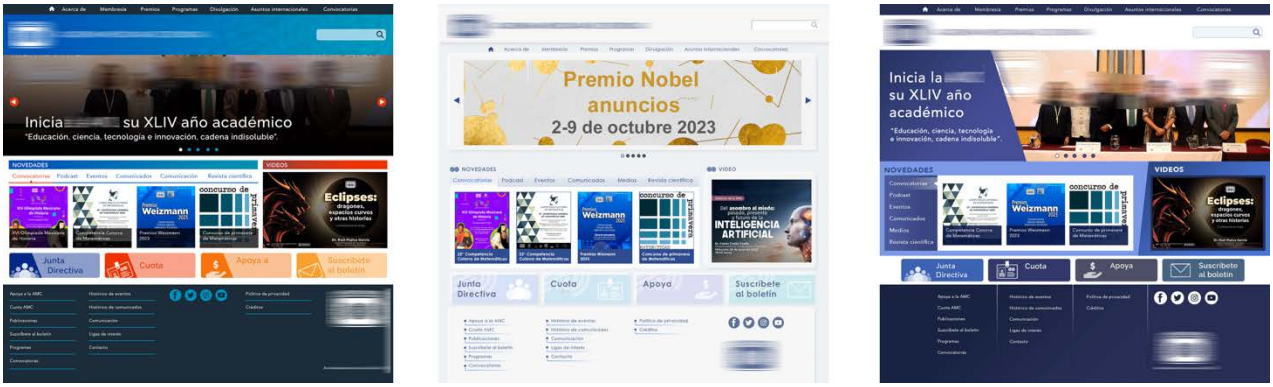


Nota. Ejemplificación presentada por Silva y Miranda (2020).

Una vez aprobada la nueva arquitectura (que se presenta completa a través de los prototipos incluidos en el Anexo A), se presentaron las tres propuestas de diseño visual que se muestran en la Figura 6.

Figura 6

Propuestas para elegir la nueva apariencia del sitio



Se eligió la tercera propuesta de diseño, con la solicitud de insertar una sección para la transmisión de videos que eventualmente serían promovidos por parte de la institución receptora. De inmediato, se generó la vista modificada para su aprobación y consecuente construcción del sitio sobre el CMS.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 206 - 216

2.1.2 DESARROLLO EN WORDPRESS

Como parte del servicio, el sitio de desarrollo fue inicialmente alojado en un servidor de la UNAM, con el propósito de tener un espacio para cotejar en colaboración el avance del desarrollo. La primera tarea consistió en definir la plantilla preconfigurada (*theme*) de WordPress y aprovechar su distribución espacial nativa (*layout*) para el diseño del sitio. Se eligió el *theme* Ashe debido a su uso frecuente en blogs multiactor y contenidos corporativos, ya que su sobriedad visual y diseño se prestan para transmitir autoridad institucional y seriedad académica.

Considerando que la mejor práctica no es modificar de forma directa el *theme* instalado, sino copiarlo para obtener un tema hijo (*child theme*), se procedió a implementarlo. La intención fue contar con una extensión del tema principal, lo que permitió hacer modificaciones sin editar directamente el código original, personalizar el sitio y recibir actualizaciones del *theme* sin perder a futuro las modificaciones. Además, el *child theme* puede utilizarse tanto para ajustes simples como para personalizaciones de mayor complejidad, pues hereda el diseño y las funcionalidades del *theme* (WordPress.org, 2024).

Se tuvieron en cuenta varias directrices para no cometer errores al usar el *child theme,* como son evitar la modificación directa de los archivos de función y estilo del *theme,* prestar atención a las actualizaciones de éste y realizar pruebas (InstaWP, 2024). Se consideró pertinente dejar patente la gama cromática que se aprecia en la Figura 7, para que, en futuras modificaciones, no se altere la apariencia del diseño de manera inadecuada.

Figura 7

Gama cromática en dos códigos de color para pantalla

MATIZ	HEXADECIMAL	RGB
	#282d56	40 45 86
	#3d62b3	61 98 179
	#7d9ae6	125 154 230
	#e4e6fb	228 230 251
	#cad0ff	202 208 255
	#6C72A3	108 114 163
	#474f98	71 79 152
	#2b4987	43 73 135
	#476482	71 100 130
	#707070	112 112 112

Con el ambiente funcionando, se adaptó la estructura para alinearla a la arquitectura designada. Los menús y secciones quedaron listos como espacios en espera de colocación de la información. Pronto, el sitio se pobló de texto e imágenes, dejando las secciones nuevas vacías en espera del contenido oficial.

2.1.3 DESPLIEGUE DEL SITIO

Una vez que la información se completó, se preparó la migración al servidor de producción en constante comunicación con el equipo de la institución receptora. El sitio fue objeto de modificaciones ligeras a raíz de cambios sugeridos por dicha institución. De cualquier forma, no hubo cambios estructurales ni

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 207 - 216

alteraciones drásticas. Uno de los dos últimos accesorios que se integraron consistió en instalar un *plugin* de accesibilidad en consideración de las personas con discapacidades y adultos mayores que deseen visitar el sitio. El otro accesorio fue el *plugin* Yoast SEO, que permitió monitorear de manera óptima la relación entre palabras clave, títulos y descripciones de cada página para lograr un mejor posicionamiento en los motores de búsqueda.

Con el sitio evolucionado a un punto satisfactorio, se instaló el *plugin* Duplicator, herramienta que dio la posibilidad de empaquetar todo el sitio, descargarlo e instalarlo con éxito en su nuevo alojamiento. El sitio no se liberó de inmediato, ya que primero se hicieron cambios ligeros que fueron ensayados en el ambiente de desarrollo para después ser replicados en el ambiente de producción.

2.1.4 LIBERACIÓN DEL SITIO

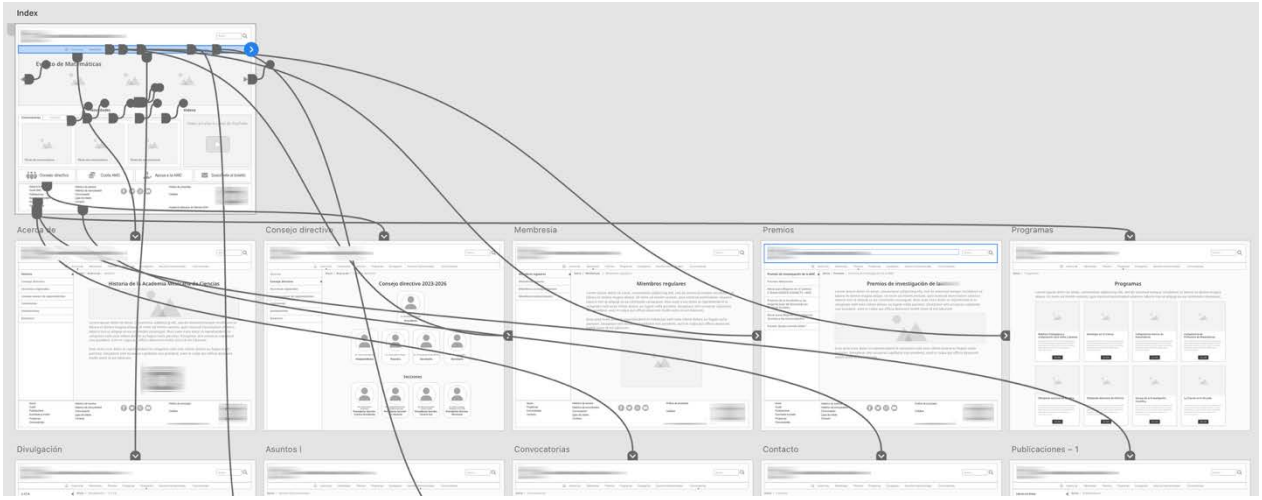
Se generaron las cuentas de administración siguiendo prácticas de seguridad y se entregaron las credenciales para las personas usuarias a cargo. Tras varias sesiones para ultimar detalles y sesiones de capacitación, el sitio se liberó con éxito y bajo la aprobación del director de la institución receptora y revisión del equipo a cargo. Cabe señalar que se solicitó asesoría posterior para temas menores y se realizaron modificaciones ligeras con el sitio liberado.

3. RESULTADOS

Se generó una maqueta (*mockup*) interactiva que agilizó la toma de decisiones. El equipo de la institución receptora tuvo acceso directo para navegar, opinar, sugerir cambios y aprobar, en su caso, la estructura. Se usó Adobe Xd para compartir en línea esta etapa del proyecto. La relación de navegación entre vistas se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Relación entre pantallas en mockup interactivo (vista de Adobe Xd modo prototype)



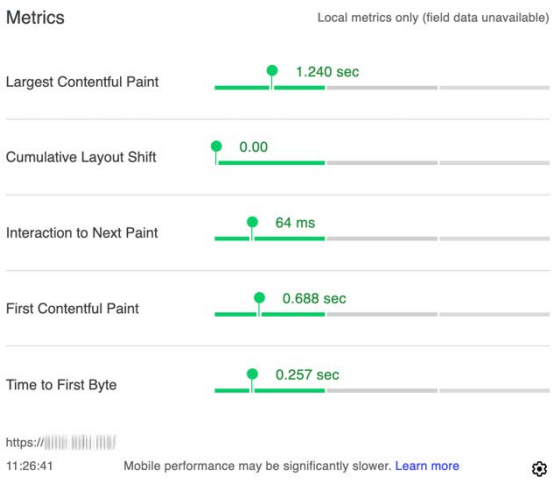
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 208 - 216

Con la aprobación del diseño de interfaz de usuario y su estética, el desarrollo se centró en capitalizar experiencias previas de desarrollo *frontend* sobre WordPress. Fue valioso tener dos ambientes (desarrollo y producción), pues permitió una evolución paulatina y comunicación constante. Cualquier decisión malentendida fue rápidamente encauzada según los criterios del equipo de la institución receptora.

Se superaron las limitantes propias del desarrollo en Joomla y el planteamiento de arquitectura de la información. Junto con WordPress, se obtuvo mejor usabilidad, estética, mantenibilidad, escalabilidad y facilidad de actualización (Iqbal *et al*., 2020). Generar contenido y publicarlo ahora puede hacerse de forma rápida, fácil, colaborativa y ordenada. Adicionalmente, el desarrollo cuenta con un buen desempeño en dispositivos móviles según las métricas de Core Web Vitals de Google, que se presentan en la Figura 9, al evaluar su velocidad, interactividad y estabilidad visual, entre otras.

Figura 9

Métrica de desempeño del sitio en producción según el plugin Web Vitals para navegadores



Adicionalmente, se dotó el sitio de capacidades de manejo de SEO y de accesibilidad con un panel de herramientas de asistencia para eliminar barreras (Albornoz *et al*., 2024).

Según la métrica de la herramienta Lighthouse, se obtuvo un 78/100 en accesibilidad, lo que muestra que el sitio respeta los principios básicos de navegación; asimismo, un 81/100 de buenas prácticas destaca que el sitio utiliza conexiones seguras, librerías actualizadas y evita APIs obsoletas, haciendo un sitio seguro y confiable para las personas usuarias; un 85/100 indica que Google puede indexar, leer y entender el contenido del sitio sin problemas.

El proceso aseguró una transición rápida y eficiente, logrando un sitio web alineado con los estándares, información jerarquizada y facetada (Silva y Miranda, 2020). Se cubrieron las necesidades de visualización requeridas y se evitaron las características negativas de un sitio tecnológica y estructuralmente no actualizado (Hann, 2024). La clara transferencia de conocimiento técnico, en una curva de aprendizaje corta, dejó en claro las posibilidades del CMS para dar continuidad al desarrollo e introducir modificaciones futuras.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 209 - 216

4. CONCLUSIONES

Aunque Joomla y Drupal fueron descartados, disponen de características propias que les otorgan una alta interactividad y popularidad, por lo que sería aventurado afirmar que son menos útiles o que son menos eficientes. Para el sitio de la institución receptora, se eligió la mejor opción dada la naturaleza del proyecto.

La adopción de WordPress permitió un desarrollo rápido y eficiente en colaboración con los técnicos de la institución receptora para cumplir los objetivos. El sitio web es visualmente agradable y los contenidos son más fáciles de encontrar. Asimismo, la implementación de buenas prácticas de posicionamiento en buscadores mediante el uso del *plugin* Yoast SEO y la relación adecuada entre palabras clave, títulos y descripciones permitió mejorar la visibilidad del sitio. Como resultado, el nombre de la institución aparece en las primeras posiciones de búsqueda orgánica al ingresar su nombre o el título de algunos de los contenidos publicados.

La adopción del CMS WordPress fue una elección adecuada a las necesidades de administración y comunicación de la institución receptora. Es posible actualizar el CMS sin necesidad de migrar a desarrollos desde cero, además de contar con la capacidad de generar respaldos de forma preventiva. Aunque WordPress no presenta problemas de actualización propiamente, es pertinente tomar en cuenta que, para futuras actualizaciones, el uso de algunas extensiones de terceros y el requerimiento de otras versiones de PHP en servidor podrían causar problemas de incompatibilidad.

REFERENCIAS

Albornoz, M., Berón, M., y Montejano, G. (2024). Interfaces gráficas de usuario: criterios de diseño para favorecer la usabilidad y accesibilidad [capítulo]. En M. D. Zárate, F. E. Páez y R. Stickar (Eds.), *Libro de Actas - XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación: WICC 2024* (pp. 486–491). Red de Universidades con Carreras en Informática. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/179841

Chi, C. (2024). *What is Website Architecture? 8 Easy Ways to Improve Your Site Structuring.* Hubspot. https://blog.hubspot.com/marketing/website-architecture

Hann, K. (2024). *Website Redesign In 2024: The Ultimate Guide.* Forbes Advisor. https://www.forbes.com/advisor/business/website-redesign/

Iqbal, M., Noman, M., Talpu, S. R., Manzoor, A., y Abid, M. M. (2020). An empirical study of popular content management system - WordPress vs Drupal vs Joomla. *ICTACT Journal on Management Studies*, *6*(2), 1214–1219. https://doi.org/10.21917/ijms.2020.0168

InstaWP. (29 de abril de 2024). *How to develop a theme and child theme the right way.* https://instawp.com/theme-and-child-theme-development-best-practices/

Joomla! Project. (2021, 10 de agosto). *Migración paso a paso. Autoevaluación.* Joomla! Documentation. https://docs.joomla.org/Migration_Step_by_Step_Self_Assessment/es

Joomla! Project. (2023, 21 de octubre). *Actualizar versiones.* Joomla! Documentation. https://docs.joomla.org/Portal:Upgrading_Versions/es

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 210 - 216

Pomaquero Yuquilema, M. L., Ávalos Espinoza, P. A., y Paredes Calderón, B. A. (2019). Diseño centrado en el usuario aplicado en la creación web de sitios institucionales educativos: El caso de la Escuela de Diseño Gráfico de la ESPOCH. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (1). https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/01/diseno-centrado-usuario.html

Silva, M. B. da, y Miranda, Z. D. de. (2020). Investigação panorâmica sobre a adoção de estruturas facetadas no viés da arquitetura da informação. *Informação & Informação*, *25*(4), 452–476. https://doi.org/10.5433/1981-8920.2020v25n4p452

WordPress.org. (2024, 26 de enero). *Child themes*. WordPress Developer Resources. https://developer.wordpress.org/themes/advanced-topics/child-themes/

Yeralan, S. (2024). *The evolution of user interfaces: From command line to AI-driven interaction*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/384289476_The_Evolution_of_User_Interfaces_From_Command_Line_to_AI-Driven_Interaction

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 211 - 216

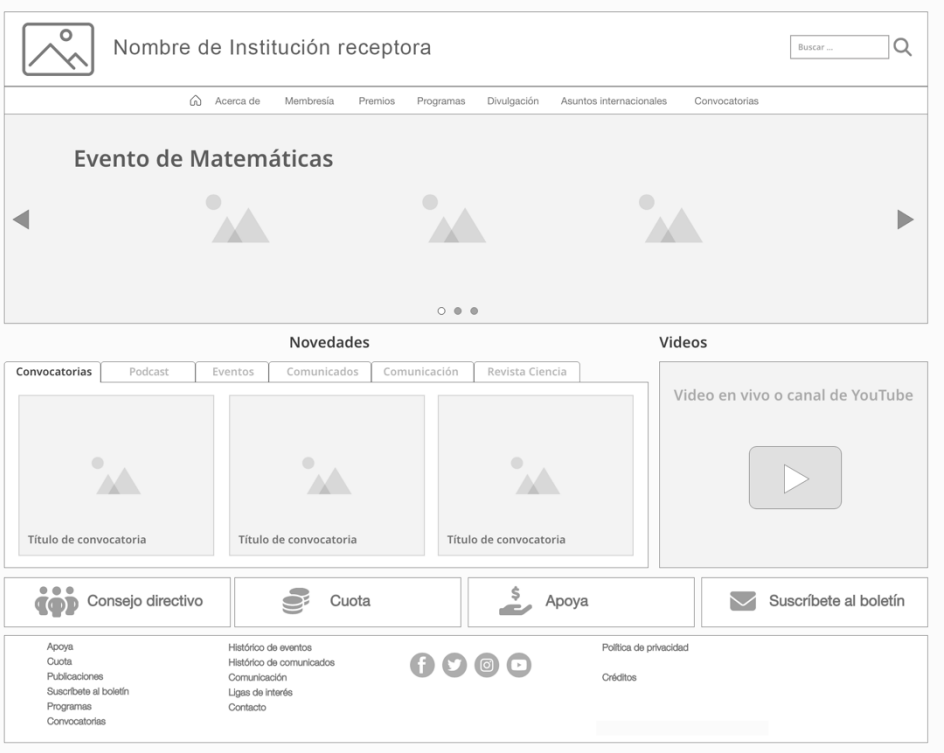
ANEXO A. ESQUEMATIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN EN PROTOTIPO DE BAJA FIDELIDAD

Se presentan a continuación las vistas esquematizadas que se entregaron como replanteamiento de la arquitectura de la información para el proyecto. Las vistas mostradas fueron extraídas del prototipo interactivo elaborado en Adobe XD. De las Figuras 10 a la 20 se presentan los esquemas de la página de inicio, la de información sobre la institución, la de información del consejo directivo, la de miembros regulares, la de premios de investigación, la de programas, la de divulgación, la de asuntos internacionales, la de convocatorias, la de medios de contacto y la de libros disponibles en línea, respectivamente.

El prototipo, al dar la sensación de navegación en carrusel en las pestañas de la sección "Novedades" y vínculos principales, sirvió para la toma de decisiones y el cotejo del entendimiento entre las partes antes de presentar propuestas de diseño gráfico.

Figura 10

Esquematización de la página de inicio



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 212 - 216

Figura 11

Página "Acerca de"

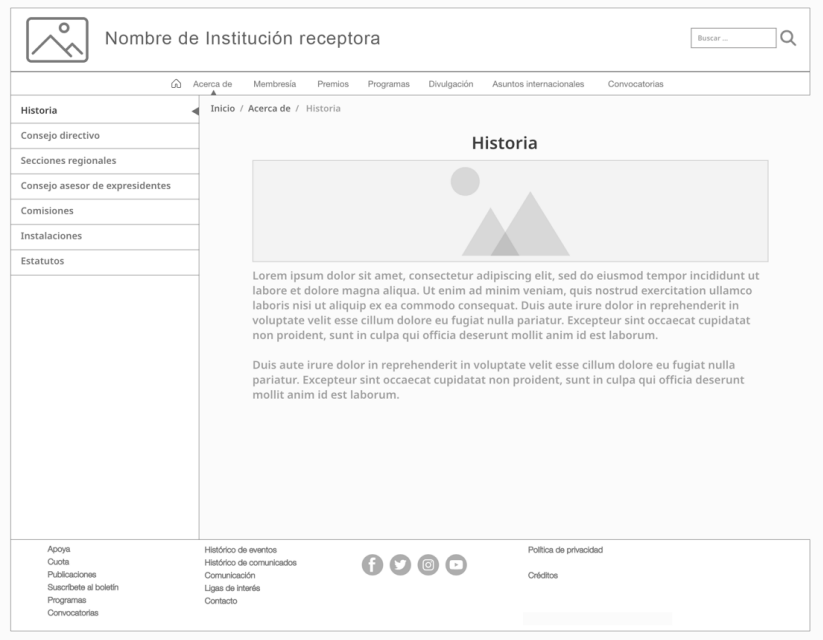


Figura 12

Página "Consejo directivo"



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 213 - 216

Figura 13

Página "Membresía"

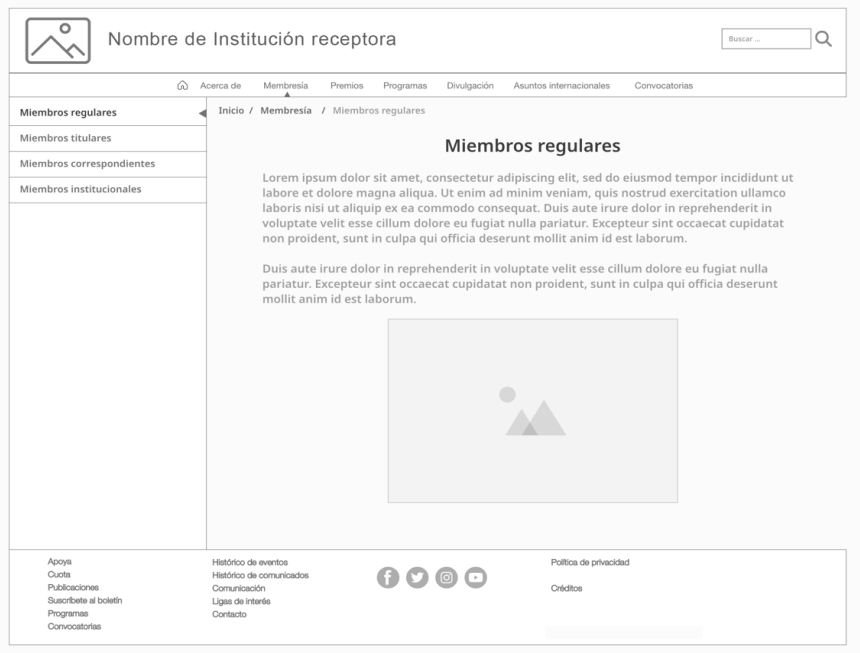


Figura 14

Página "Premios"



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 214 - 216

Figura 15

Página "Programas"

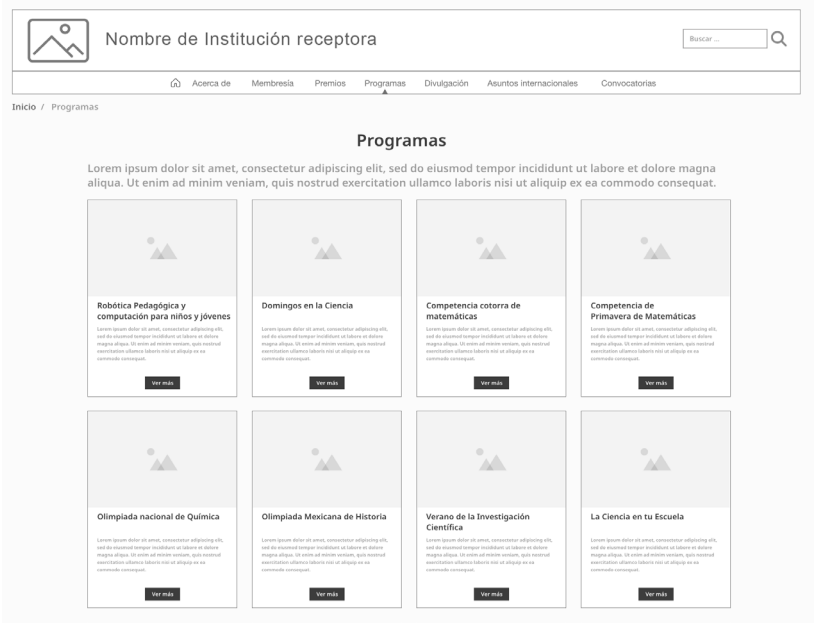
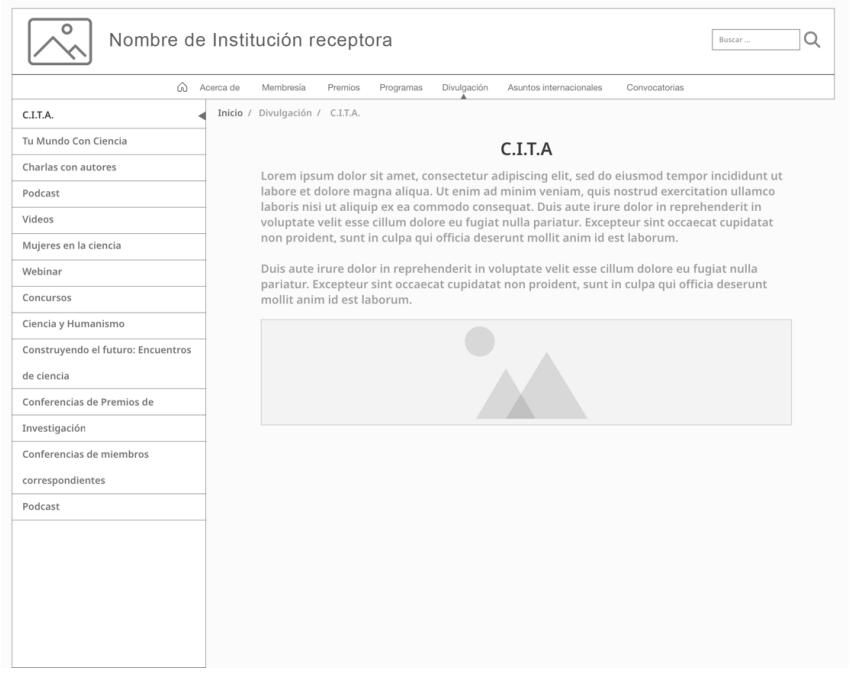


Figura 16

Página "Divulgación"



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 215 - 216

Figura 17

Página "Asuntos internacionales"

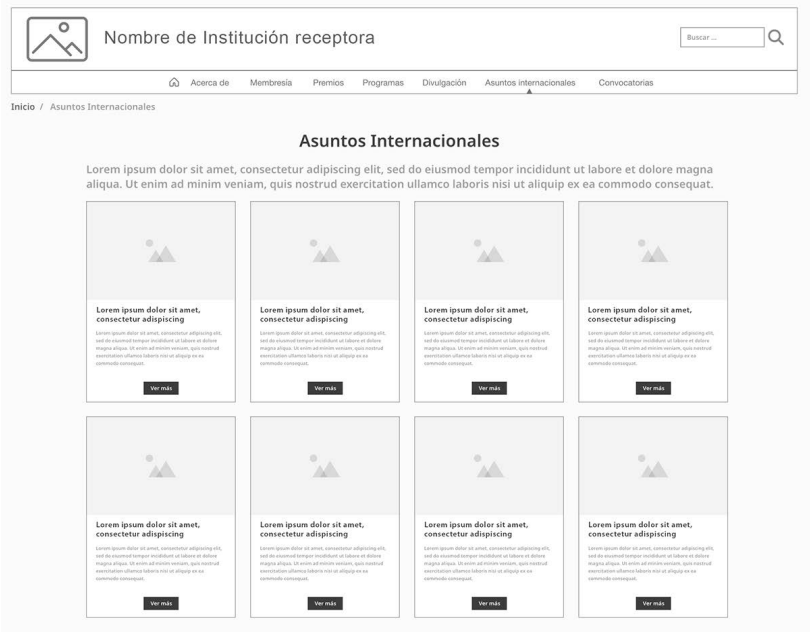
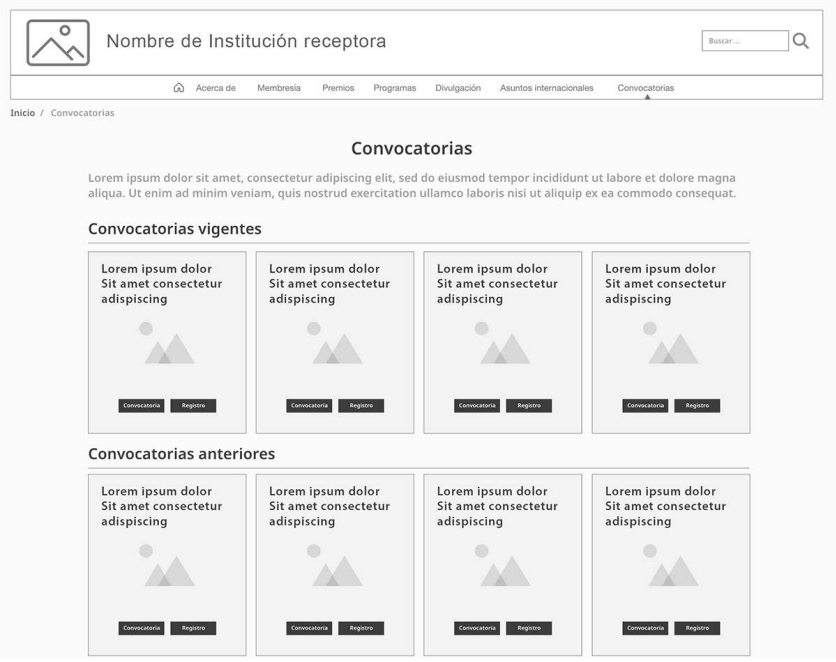


Figura 18

Página "Convocatorias"



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2026.4.4.209 Vol. 4, Núm. 4. octubre-diciembre 2026, págs. 216 - 216

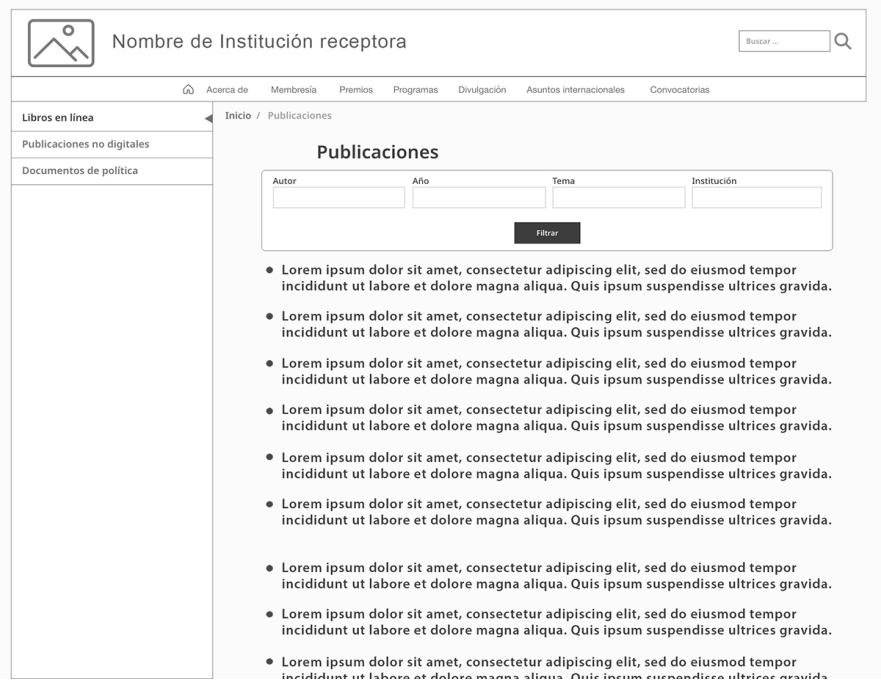
Figura 19

Página "Contacto"



Figura 20

Página "Libros en línea"



Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

ISSN-e: 3061-8096



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

DGTIC UNAM

DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN