CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC

ISSN-e: 3061-8096

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

DOI:10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC

Para citar un reporte técnico de la obra: Apellidos 1 Apellidos 2, Iniciales nombres. (2025). Título del reporte técnico. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4), páginas (N1-N2).

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC, Año 3, No. 4, octubre-diciembre 2025, 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 2025.

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

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025

CONTENIDO

Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC

DOI: 10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025

PRESENTACIÓN

Tras dos años ininterrumpidos de publicación, es un gusto celebrar el segundo aniversario de los Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC (CTUD). Desde sus inicios, esta revista, dirigida especialmente al personal técnico, ha tenido el compromiso de habilitar espacios donde, con un cuidadoso enfoque metodológico, se puedan compartir experiencias probadas sobre las soluciones basadas en TIC que el personal adscrito a las universidades implementa en beneficio de sus comunidades.

Es así como, en CTUD, se promueven círculos académicos donde las personas autoras pueden conocer el punto de vista de los pares, quienes revisan sus trabajos en la modalidad doble ciego, para enriquecer y consolidar los procesos de mejora continua y de innovación sobre los servicios basados en TIC que implementan en los espacios universitarios.

En este segundo aniversario, la revista festeja la instalación de su propio Consejo Editorial, la ampliación de la convocatoria para contar a partir del año 2026 con las contribuciones de personas autoras de otras instituciones de educación superior y la organización de un seminario trimestral, que tuvo el fin de ofrecer herramientas a las personas autoras interesadas en postular reportes técnicos a CTUD y que ha contado con la participación de más de 700 asistentes.

Cabe destacar que, en el presente número, se publican seis reportes técnicos, de los cuales seis fueron escritos en coautoría. Este hecho refleja el valor del trabajo colaborativo en el continuo esfuerzo que se ha realizado por institucionalizar al reporte técnico como medio de transferencia de conocimiento del trabajo que se realiza en los proyectos y servicios universitarios para que otras comunidades TIC lo aprovechen y favorezcan las actividades sustantivas de sus instituciones.

Estimado lector y estimada lectora, hemos llegado al segundo año de los Cuadernos Técnicos Universitarios que no sólo son de la DGTIC y de la UNAM, sino también tuyos. Esperamos tu participación y contribuciones.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Dr. Héctor Benítez Pérez
Director General de Cómputo y de Tecnologías
de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México

13 de noviembre de 2025.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 9 - 19

Desarrollo de un clasificador de imágenes con una herramienta Non-Code para procesamiento de electrocardiograma con IAM

Gabriela Borrayo Sánchez
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
gabriela.borrayo@unam.mx
ORCID: 0000-0001-8531-9923

Dania Nimbe Lima Sánchez
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
dlima@facmed.unam.mx
ORCID: 0000-0002-3647-6540

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
ale.alayola@unam.mx
ORCID: 0009-0002-8864-4152

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

Borrayo Sánchez, B., Lima Sánchez, D. N., Camacho Morales, J. A., y Aloya Sansores, A. (2025). Desarrollo de un clasificador de imágenes con una herramienta Non-Code para procesamiento de electrocardiograma con IAM. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (9 - 19). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139

Resumen

El infarto agudo de miocardio con elevación del ST representa una emergencia médica que requiere una intervención inmediata. Se evaluó un modelo de inteligencia artificial multimodal que integró datos visuales de electrocardiogramas y texto clínico, con el fin de mejorar

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 10 - 19

la precisión diagnóstica en comparación con la evaluación realizada por especialistas. El estudio fue de tipo observacional retrospectivo, empleando datos previamente recolectados. Se aplicaron procesos de limpieza de imágenes y textos, se utilizó una arquitectura basada en redes neuronales convolucionales y recurrentes, así como se realizó una validación cruzada con métricas como área bajo la curva y F1-score. Los resultados mostraron una precisión diagnóstica del 90% para la identificación de infarto de miocardio con elevación del segmento ST y una concordancia con el especialista medida por el coeficiente Kappa de Cohen de 0.90. Estos hallazgos indicaron que el modelo multimodal podría representar una herramienta eficaz para apoyar el diagnóstico clínico. Se concluyó que es necesaria la optimización del modelo para clasificar electrocardiogramas normales y su reentrenamiento con datos poblacionales específicos para evitar sobreajuste.

Palabras clave:

Inteligencia artificial, electrocardiograma, diagnóstico, infarto agudo de miocardio, modelo multimodal.

Abstract

Acute ST-segment elevation myocardial infarction represents a medical emergency requiring immediate intervention. A multimodal artificial intelligence model that integrated visual data from electrocardiograms and clinical text was evaluated to improve diagnostic accuracy compared to specialist evaluation. The study was retrospective, observational and used previously collected data. Image and text cleaning processes were applied, an architecture based on convolutional and recurrent neural networks was used, and cross-validation was performed with metrics such as area under the curve and F1 score. The results showed a diagnostic accuracy of 90% for the identification of ST-segment elevation myocardial infarction and specialist agreement measured by Cohen's Kappa coefficient of 0.90. These findings indicated that the multimodal model could represent an effective tool to support clinical diagnosis. It was concluded that model optimization is necessary to classify normal electrocardiograms and retrain it with specific population data to avoid overfitting.

Keywords:

Artificial intelligence, electrocardiogram, diagnosis, acute myocardial infarction, multimodal model.

1. INTRODUCCIÓN

El Infarto Agudo de Miocardio (IAM) es una patología crítica caracterizada por la necrosis del tejido miocárdico debido a una isquemia prolongada. Es una de las principales causas de muerte a nivel mundial (Thygesen et al., 2018). Esta condición afecta a millones de personas cada año y representa un desafío significativo para los sistemas de salud pública en términos de prevención, diagnóstico y tratamiento oportuno. Los factores de riesgo asociados al IAM son múltiples e incluyen hipertensión arterial, diabetes mellitus, dislipidemias, tabaquismo y antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular El diagnóstico de IAM tradicionalmente depende del reconocimiento de síntomas clínicos (como dolor torácico), hallazgos electrocardiográficos característicos y la elevación de biomarcadores específicos como la troponina (La et al., 2025). Sin embargo, existen presentaciones atípicas y subtipos como el infarto con arterias coronarias no obstructivas (MINOCA), que complican el diagnóstico y exigen herramientas más sensibles y precisas (Tognola et al., 2025).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 11 - 19

Dado el aumento en la incidencia de IAM y la carga sobre los sistemas de salud, se requiere un modelo automatizado para apoyar el diagnóstico oportuno. Los electrocardiogramas (ECG) son clave en la detección de eventos cardiacos, pero su interpretación depende del especialista y puede ser propensa a errores humanos, especialmente con personal no entrenado en su interpretación, zonas remotas y con dificultades en la accesibilidad de un especialista; sin embargo, sigue siendo el método más usado debido a su facilidad de uso y naturaleza no invasiva (Strodthoff et al., 2021).

En los últimos años, los avances en Inteligencia Artificial (IA) y aprendizaje profundo han permitido el desarrollo de modelos capaces de detectar patrones complejos en datos clínicos. Esta metodología ha sido justificada en estudios previos que muestran mejoras diagnósticas al integrar modalidades múltiples en medicina cardiovascular. Particularmente, los modelos multimodales que integran información visual (como las imágenes de ECG) con información textual (parámetros clínicos, antecedentes, anotaciones médicas) se han posicionado como una estrategia emergente para mejorar la precisión diagnóstica y apoyar a los médicos en la toma de decisiones (Strodthoff et al., 2021).

Entre los principales avances para el diagnóstico, se han establecido algoritmos con descomposición modal variacional, optimizados con modelos de enjambre de partículas de peso difuso, los cuales han demostrado aumentar la precisión de los modelos obteniendo valores de exactitud de 99.1 %, especialmente con el trabajo de extracción de características y filtrado de ruido (Saranya & Vennila, 2025). Además, existen redes residuales profundas que han mejorado la clasificación del infarto agudo al miocardio, mejorando el sobreajuste y obteniendo valores de detección muy altos (La et al., 2025).

Asimismo, las herramientas basadas en inteligencia artificial han permitido la evaluación en tiempo real de eventos coronarios críticos, como lo demuestran los avances del estudio TIMI AI-ECG, que optimiza la toma de decisiones durante procedimientos invasivos (Herman et al., 2025). En paralelo, se ha propuesto una reformulación de los paradigmas diagnósticos tradicionales —como la clasificación IAMCEST/IAMSEST— hacia modelos centrados en el concepto de infarto de miocardio oclusivo (IMO), dado que un porcentaje significativo de pacientes con Infarto de Miocardio con Elevación del Segmento ST (IAMCEST) podría presentar oclusiones coronarias sin elevaciones típicas del ST, situación en la que las redes neuronales profundas han mostrado capacidad para detectar sutiles variaciones del trazo electrocardiográfico que serían imperceptibles para el clínico entrenado o incluso a la percepción de visual (Ayyad et al., 2025).

Por otra parte, la integración de dispositivos portátiles de monitoreo continuo, como parches suaves que se colocan en múltiples derivaciones, ha permitido una detección ambulatoria con una alta precisión (hasta 99.93 %), lo que ha apoyado a que se pueda hacer también un diagnóstico no sólo intra hospitalario, sino que pueda también potenciarse la telemedicina, permitiendo el inicio de diagnóstico y seguimiento de las indicaciones de tratamiento que puedan ser llevadas de forma ambulatoria en un contexto extrahospitalario (Zhang et al., 2025).

A pesar de estos avances, persiste el reto de garantizar la interpretabilidad clínica de los modelos predictivos, ya que, generalmente, los parámetros que tome la red neuronal no serán los mismos que utilizan los clínicos para realizar el diagnóstico y es necesario presentar transparencia en el uso de los modelos de inteligencia artificial. Por lo anterior, existen también estudios que se han centrado en clarificar qué tipo de interpretación realizan los modelos de inteligencia artificial, especialmente en la detección de imágenes. Estas investigaciones utilizan diferentes estrategias, entre ellas, la identificación de las áreas de la imagen que tuvieron una mayor carga o prominencia en el diagnóstico, lo que permite

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 12 - 19

tener una mejor explicabilidad y ayudar a los médicos y personal de salud a tener una mejor confianza en la toma de decisiones que realizan con el uso de estas herramientas tecnológicas. Además, este tipo de análisis puede ser un campo de estudio para evaluar qué otras variables detectadas por el algoritmo podrían ser usadas para realizar un diagnóstico con mayor sensibilidad y especificidad; asimismo, permite buscar si existe algún tipo de plausibilidad biológica que explique la diferencia en estas áreas detectadas y así ver si dicha área puede volverse también un área de investigación básica y clínica donde se puedan desarrollar nuevas líneas de investigación que promuevan el desarrollo de tecnología y mejora en la calidad de la atención, eficacia y, finalmente, mejoría en la sobrevida de los pacientes, así como en su calidad de vida (Zhang et al., 2025).

Sin embargo, existen desafíos debido a la disponibilidad limitada de conjuntos de datos públicos completos que contengan electrocardiogramas, especialmente en la población mexicana. Esto ha propiciado el desarrollo de una variedad de algoritmos para la detección de infarto al miocardio que incluyen la segmentación de las ondas P-QRS-T o fases de preprocesamiento para mejorar la calidad de la señal, ya que los electrocardiogramas pueden presentar ruido que puede interferir con los análisis automatizados.

Este proyecto se propone aprovechar estas capacidades para enfrentar una de las principales causas de morbimortalidad global, mediante el desarrollo de un sistema automatizado que apoye el diagnóstico temprano del IAM en la población mexicana. Esta innovación contribuirá a reducir errores de interpretación, optimizar recursos clínicos y mejorar los desenlaces en salud cardiovascular, así como al uso de herramientas educativas para enseñanza de alumnos del área de la salud.

El objetivo fue desarrollar, validar y evaluar un sistema automatizado, basado en un modelo multimodal de inteligencia artificial, para la detección de ataques cardíacos, utilizando imágenes de ECG y características clínicas del paciente.

2. DESARROLLO TÉCNICO

2.1 METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un proceso exhaustivo de recolección de imágenes de electrocardiogramas que incluyó tanto registros correspondientes a sujetos sin evidencia de infarto agudo al miocardio con elevación del segmento ST (no IAMCEST), como trazos electrocardiográficos representativos de casos con diagnóstico confirmado de IAMCEST. Esta recopilación se realizó mediante la consulta de bases de datos abiertas reconocidas en el ámbito médico-científico y a través de la extracción manual de imágenes de electrocardiogramas contenidas en estudios clínicos y reportes de caso disponibles en la literatura científica internacional. Esta estrategia permitió asegurar la heterogeneidad del conjunto de datos, incorporando registros de distintas configuraciones, calidades de imagen y contextos clínicos, lo cual enriqueció la robustez y representatividad del modelo entrenado.

Una vez recolectadas las imágenes, se procedió a la codificación estructurada de las variables clínicas asociadas a cada trazo. En esta etapa, se construyó una base de datos organizada donde se categorizaron las variables más relevantes para el análisis clínico y estadístico. Las variables de tipo binario, como la presencia o ausencia de síntomas clínicos típicos (dolor torácico, disnea, diaforesis, etc.), fueron clasificadas de manera dicotómica. Por su parte, los datos de laboratorio (como niveles de troponina,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 13 - 19

CK-MB y otros marcadores cardiacos) y otras variables clínicas cuantitativas fueron conservadas en su formato numérico original. Además, se realizó una recodificación de las variables categoriales jerárquicas —como antecedentes médicos, clasificación funcional o resultados de imagen— con el objetivo de unificar criterios de análisis y facilitar su interpretación por parte del modelo de aprendizaje automático.

Posteriormente, las imágenes recolectadas fueron sometidas a un riguroso proceso de preprocesamiento digital, el cual incluyó múltiples etapas: primero, se llevó a cabo la normalización de dimensiones para asegurar la uniformidad del tamaño de las imágenes, facilitando así su procesamiento por parte de la red neuronal; luego, se aplicaron técnicas de mejora de contraste para optimizar la visibilidad de las ondas P, QRS y T, elementos fundamentales en la detección de patrones isquémicos; finalmente, se aplicaron filtros para la reducción de ruido digital, minimizando artefactos que pudieran interferir con el reconocimiento automático de características.

Con esta base de datos preprocesada, se procedió al entrenamiento de un modelo de clasificación binaria utilizando la herramienta Teachable Machine, desarrollada por Google. Este entorno fue seleccionado por su capacidad de implementar modelos de aprendizaje profundo de manera accesible y eficiente. El modelo se estructuró mediante una red neuronal convolucional (CNN), ideal para el análisis de imágenes médicas, que permite identificar y extraer patrones espaciales relevantes sin necesidad de intervención manual. Los modelos fueron entrenados mediante la plataforma Teachable Machine de Google, la cual genera modelos compatibles con TensorFlow.js. La ejecución del modelo se realiza del lado del cliente, directamente en el navegador web, aprovechando los recursos locales del equipo de cómputo del usuario, sin requerir un servidor intermedio basado en Node.js. Como resultado del proceso, se obtuvo un modelo en formato JSON listo para implementación, lo cual permite su integración en plataformas web, aplicaciones clínicas o sistemas embebidos para apoyo al diagnóstico automatizado. El modelo fue configurado específicamente para diferenciar entre dos clases: IAMCEST (infarto agudo al miocardio con elevación del ST) y no IAMCEST (electrocardiogramas normales o no indicativos de infarto agudo).

El entrenamiento se realizó por 50 épocas, con un tamaño de lote de 16 y una tasa de aprendizaje de 0.001. Se realizó una validación cruzada tipo k-fold, cálculo de métricas como precisión, sensibilidad, especificidad, F1-score y área bajo la curva (AUC).

3. RESULTADOS

El modelo fue entrenado utilizando un total de 620 imágenes correspondientes a electrocardiogramas que evidenciaban Infarto Agudo al Miocardio con Elevación del Segmento ST (IAMCEST), las cuales fueron recopiladas de una variedad de fuentes, incluyendo reportes clínicos publicados, bases de datos abiertas reconocidas en el ámbito académico y repositorios de imágenes públicas validadas. Estas imágenes patológicas fueron comparadas con un conjunto de control conformado por 176 electrocardiogramas que no presentaban alteraciones diagnósticas, también obtenidos de fuentes abiertas y verificadas para asegurar la ausencia de patología cardiovascular evidente. Esta diferenciación permitió establecer una base robusta de entrenamiento supervisado para el modelo de aprendizaje profundo.

El modelo fue ajustado para ejecutarse a lo largo de 50 épocas, seleccionando un tamaño de lote de 16 muestras por iteración, lo cual permitió un balance adecuado entre estabilidad del entrenamiento y eficiencia computacional. Se utilizó una tasa de aprendizaje inicial de 0.001, configurada para optimizar la convergencia del modelo, minimizando el error de predicción sin inducir oscilaciones ni divergencias

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 14 - 19

en las primeras fases del entrenamiento. Esta arquitectura permitió la identificación precisa de patrones electrocardiográficos compatibles con eventos isquémicos agudos, resultando en una exactitud del 90 % para la detección de IAMCEST. En contraste, la clasificación de electrocardiogramas sin alteraciones patológicas alcanzó una exactitud más moderada del 74 %, resultado que evidencia la complejidad de distinguir entre trazos normales y condiciones no isquémicas sutiles.

Con el objetivo de validar clínicamente el desempeño del modelo, se realizó un análisis de concordancia inter-observador utilizando como referencia la interpretación diagnóstica de un médico especialista en cardiología. El grado de acuerdo se midió mediante el coeficiente Kappa de Cohen, el cual alcanzó un valor de 0.90 con un intervalo de confianza del 95 % entre 0.68 y 1.11, lo que representa una concordancia alta según los estándares aceptados en medicina basada en evidencia. Este resultado refuerza la fiabilidad del modelo no sólo desde el punto de vista computacional, sino también clínico.

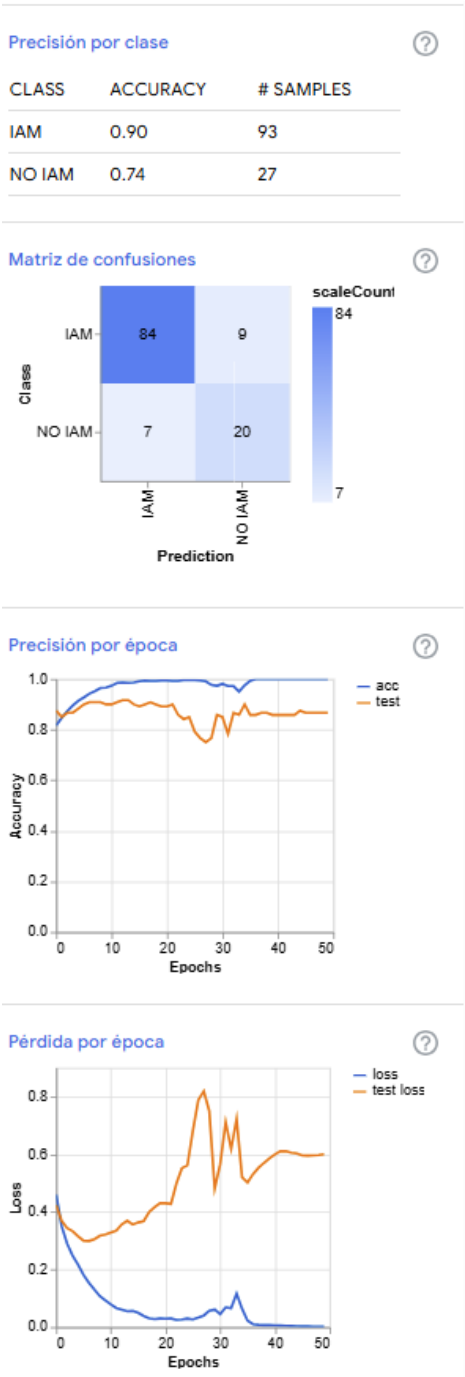
Además, se evaluó el rendimiento global del modelo mediante el análisis de curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*), obteniéndose un área bajo la curva (AUC) promedio de 0.91, con una sensibilidad del 88 % y una especificidad del 85 %. Estos valores indican una alta capacidad discriminativa del algoritmo para distinguir entre eventos isquémicos y trazos normales. El análisis detallado de la matriz de confusión permitió identificar errores de clasificación recurrentes, principalmente asociados a imágenes de ECG con artefactos técnicos o borrosidad en la señal, factores previamente definidos como criterios de exclusión en la etapa de preprocesamiento de datos.

Por último, durante el entrenamiento, se observó una ligera tendencia al sobreajuste, especialmente en clases minoritarias con menor representación dentro del conjunto de entrenamiento. Este fenómeno fue mitigado mediante el ajuste de pesos de clase dentro de la función de pérdida, lo que permitió equilibrar el aprendizaje del modelo y mejorar su capacidad de generalización en escenarios clínicos diversos. Estos hallazgos sugieren que, con un ajuste y validación continuos, el modelo podría ser integrado de manera efectiva en sistemas automatizados de interpretación de ECG para el apoyo al diagnóstico temprano del infarto agudo al miocardio. Estos datos se presentan en la Figura 1.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 15 - 19

Figura 1

Rendimiento del modelo ajustado a 50 épocas, con tamaño de lote de 16 y una tasa de aprendizaje de 0.001

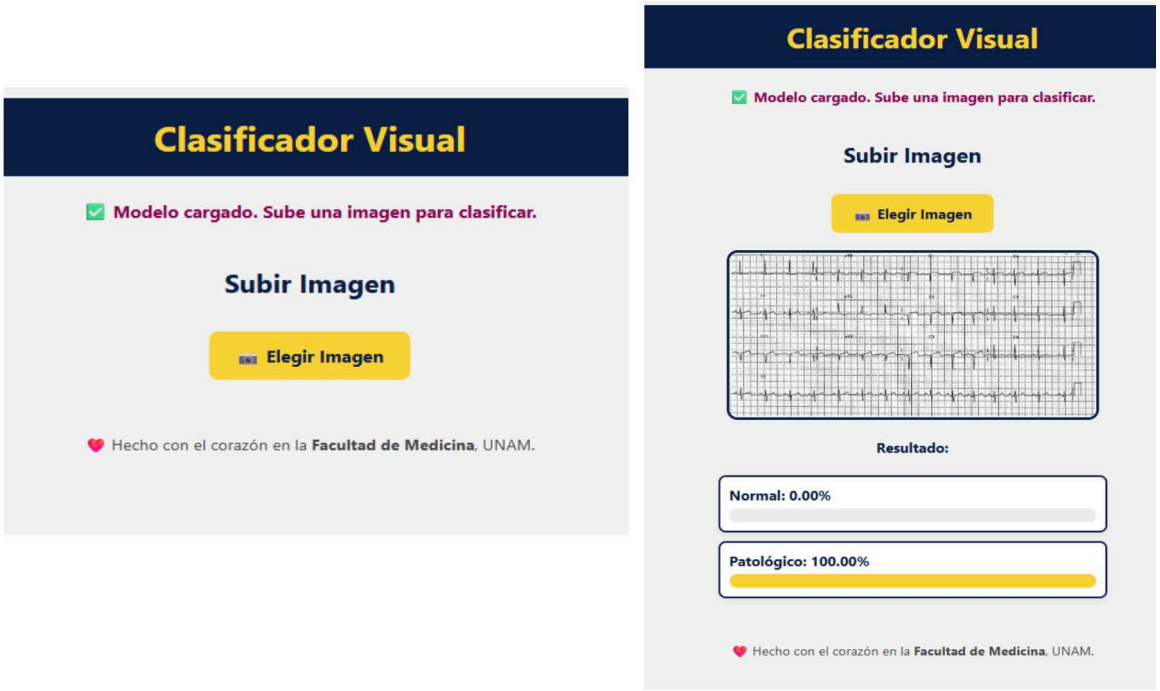


https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 16 - 19

Este modelo fue desplegado en un servidor dedicado, lo cual permitió controlar completamente el entorno de ejecución y garantizar un rendimiento estable, seguro y optimizado para las necesidades del proyecto. Se procedió a modificar el entorno gráfico del usuario (*frontend*) para incorporar una identidad visual personalizada que facilitara la interacción intuitiva, además de reforzar la coherencia institucional del sistema mediante elementos de diseño visualmente adaptados. Esta personalización del *frontend* no solo mejoró la experiencia de uso, sino que también fue fundamental para establecer una interfaz amigable y funcional destinada a profesionales de la salud, especialmente en contextos de urgencias médicas (ver Figura 2).

Figura 2

Captura de Pantalla del Sistema para subir las imágenes en el clasificador entrenado y el diagnóstico realizado por el entrenamiento



Nota. Disponible en: https://saluddigital.facmed.unam.mx/cardio/

Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas formales de validación y análisis de usabilidad, enfocadas en determinar la eficiencia, claridad y utilidad de la plataforma para sus usuarios objetivo. Dichas evaluaciones incluyeron pruebas de funcionalidad con escenarios simulados y retroalimentación directa de usuarios clínicos, lo cual permitió realizar ajustes iterativos para optimizar la navegación, el tiempo de respuesta del sistema y la comprensión de los resultados mostrados por el modelo. Estos aspectos son fundamentales para lograr la adopción de herramientas basadas en inteligencia artificial dentro del flujo clínico real, donde cada segundo y decisión tienen implicaciones críticas.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 17 - 19

Adicionalmente, para evaluar la precisión del sistema en la detección de casos de Infarto Agudo al Miocardio con Elevación del ST (IAMCEST), se llevó a cabo una validación clínica con la colaboración de un médico especialista en cardiología, quien analizó e interpretó los mismos electrocardiogramas evaluados por el modelo. A partir de esta revisión cruzada, se determinó el nivel de concordancia diagnóstica entre el algoritmo y el criterio clínico experto, lo cual sirvió como una verificación externa crítica del rendimiento del sistema en condiciones realistas. Esta evaluación médica fue determinante no sólo para validar la eficacia del modelo, sino también para generar confianza en su uso clínico y establecer un punto de partida para futuras aplicaciones del sistema.

4. CONCLUSIONES

El modelo de inteligencia artificial desarrollado demostró una alta capacidad diagnóstica para la detección automatizada del Infarto Agudo al Miocardio con Elevación del Segmento ST (IAMCEST), alcanzando métricas de rendimiento clínicamente relevantes y comparables a las obtenidas por médicos generales en escenarios reales (La et al., 2025). Esta precisión, respaldada por un valor elevado del coeficiente Kappa y un área bajo la curva ROC (AUC) destacada, valida la utilidad del modelo como herramienta complementaria en contextos clínicos donde la interpretación inmediata del electrocardiograma es crítica, como los servicios de urgencias, unidades de primer contacto o regiones con limitada disponibilidad de especialistas (Shah et al., 2022). El uso de un enfoque multimodal es clave para mejorar la sensibilidad diagnóstica, reducir falsos negativos y reforzar la confianza en las decisiones generadas por el sistema. Esta integración de datos, como se ha evidenciado en estudios recientes, representa una estrategia eficaz para abordar la variabilidad en la presentación clínica del IAM y mejorar la precisión diagnóstica en escenarios complejos.

No obstante, durante el desarrollo y validación del sistema, se identificaron áreas de mejora significativas. Una de las principales observaciones fue la necesidad de fortalecer la representación de la clase "no IAMCEST" en el conjunto de datos, ya que su menor proporción contribuyó a una disminución relativa en la precisión de clasificación para ECG normales o no patológicos. Esta desproporción, frecuentemente presente en bases de datos abiertas, podría generar sesgos algorítmicos en la predicción, limitando su utilidad como herramienta de tamizaje universal (Tognola et al., 2025). Por ello, es fundamental ampliar la muestra de trazos normales provenientes de diversas fuentes y contextos poblacionales, especialmente considerando que gran parte de los algoritmos actuales han sido entrenados en poblaciones no latinoamericanas, lo que afecta su aplicabilidad y precisión en grupos específicos como la población mexicana (Zhang et al., 2025).

En el marco de una estrategia de mejora continua, se estableció un protocolo para el reentrenamiento periódico del modelo utilizando nuevos datos clínicos y operativos, con el fin de garantizar su actualización conforme a la variabilidad epidemiológica y tecnológica. Este plan incluye una metodología de validación cruzada tradicional, distribuyendo el 70 % de los datos para entrenamiento y reservando el 30 % para validación independiente, con el objetivo de preservar la estabilidad de las métricas diagnósticas, evitar el sobreajuste y mejorar la capacidad de generalización del sistema ante nuevas muestras. Este enfoque es fundamental cuando se busca escalar la herramienta hacia diferentes entornos institucionales o poblacionales, y permite mantener la fidelidad diagnóstica a través del tiempo, incluso en presencia de nuevas variantes clínicas, tecnologías de adquisición o patrones demográficos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 18 - 19

De manera adicional, se identificó la necesidad de incorporar técnicas de regularización más avanzadas para contrarrestar el sobreajuste en clases minoritarias y mejorar la robustez general del sistema. Esto incluye la ponderación de clases, el uso de *data augmentation* para ECG normales y la inclusión de trazos sintéticos generados por redes generativas adversariales (GANs), los cuales podrían enriquecer la diversidad de escenarios clínicos presentados al algoritmo. También se sugiere implementar validaciones externas con médicos especialistas de diferentes regiones para evaluar la concordancia diagnóstica interinstitucional y validar el sistema en escenarios clínicos reales, no simulados (Herman et al, 2025).

Finalmente, se recomienda avanzar hacia la integración de este tipo de modelos de inteligencia artificial como herramientas auxiliares dentro de los sistemas de salud digital, con un enfoque centrado en el apoyo diagnóstico, la toma de decisiones basada en evidencia y la educación médica continua. Esta implementación deberá realizarse bajo marcos éticos estrictos, que incluyan el consentimiento informado, la transparencia algorítmica y la trazabilidad de decisiones clínicas, de modo que se respete la autonomía del paciente y se promueva una relación médico-tecnología confiable (Zhang et al., 2025).

La incorporación progresiva de estas tecnologías puede contribuir no sólo a reducir los errores de interpretación, sino también a optimizar recursos, fortalecer la equidad en el acceso al diagnóstico y, en última instancia, mejorar la sobrevida y la calidad de vida de los pacientes con enfermedad cardiovascular. También se plantea la posibilidad de que estos algoritmos se puedan utilizar en la enseñanza en el área de la salud, utilizándolos como herramienta para realizar ejercicios con alumnos de diferentes fases de entrenamiento, con el fin de mejorar su precisión diagnóstica y, por ende, la calidad de la formación médica del personal sanitario. Es importante lograr la autonomía en tecnología, especialmente en entrenamientos de algoritmos con datos mexicanos que permitan crear una aplicación personalizada para nuestra población específica.

REFERENCIAS

Ayyad, M., Albandak, M., Gala, D., Alqeeq, B., Baniowda, M., Pally, J., & Allencherril, J. (2025). Reevaluating STEMI: The Utility of the Occlusive Myocardial Infarction Classification to Enhance Management of Acute Coronary Syndromes. *Current Cardiology Reports*, *27*(1), 75. https://doi.org/10.1007/s11886-025-02217-8

Herman, R., Kisova, T., Belmonte, M., Wilgenhof, A., Toth, G., Demolder, A., Rafajdus, A., Meyers, H. P., Smith, S. W., Bartunek, J., & Barbato, E. (2025). Artificial Intelligence-Powered Electrocardiogram Detecting Culprit Vessel Blood Flow Abnormality: AI-ECG TIMI Study Design and Rationale. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, *4*(3Part B), 102494. https://doi.org/10.1016/j.jscai.2024.102494

La, S., Tavella, R., Wu, J., Spertus, J. A., Pasupathy, S., Girolamo, O., Zeitz, C., Worthley, M., Arstall, M., Sinhal, A., & Beltrame, J. F. (2025). The patient journey in chronic coronary syndromes with/without obstructive coronary arteries. *European Heart Journal - Quality of Care and Clinical Outcomes*, *0*, 1–10. https://doi.org/10.1093/EHJQCCO/QCAF012

Saranya, P., & Vennila, C. (2025). Myocardial Infarction Detection using Variational Mode Decomposition with Fuzzy Weight Particle Swarm Optimization and Depthwise Separable Convolutional Network. *Computers in Biology and Medicine*, *193*. https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2025.110329

Shah, T., Kapadia, S., Lansky, A. J., & Grines, C. L. (2022). ST-segment elevation myocardial infarction: sex

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.139 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 19 - 19

differences in incidence, etiology, treatment, and outcomes. *Springer*, *24*(5), 529–540. https://doi.org/10.1007/S11886-022-01676-7

Strodthoff, N., Wagner, P., Schaeffter, T., & Samek, W. (2021). Deep Learning for ECG Analysis: Benchmarks and Insights from PTB-XL. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *25*(5), 1519–1528. https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.3022989

Tognola, C., Maloberti, A., Varrenti, M., Mazzone, P., Giannattasio, C., & Guarracini, F. (2025). Myocardial Infarction with Nonobstructive Coronary Arteries (MINOCA): Current Insights into Pathophysiology, Diagnosis, and Management. *Diagnostics, 15*(7), 942. https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS15070942

Thygesen, K., Alpert, J. S., Jaffe, A. S., Chaitman, B. R., Bax, J. J., Morrow, D. A., White, H. D., & Executive Group on behalf of the Joint European Society of Cardiology (ESC)/American College of Cardiology (ACC)/American Heart Association (AHA)/World Heart Federation (WHF) Task Force for the Universal Definition of Myocardial Infarction (2018). Fourth Universal Definition of Myocardial Infarction (2018). *Journal of the American College of Cardiology*, *72*(18), 2231–2264. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.08.1038

Zhang, K., Wang, P., Wu, L., Wang, S., Jia, Y., & Yang, J. (2025). A Soft Patch for Dynamic Myocardial Infarction Monitoring. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *17*(11), 16479–16488. https://doi.org/10.1021/acsami.4c18868

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 20 - 64

Adaptación de Open Journal Systems para el proceso de evaluación de recursos en la Red Universitaria de Aprendizaje

Mario Alberto Hernández Mayorga
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
mariohm@unam.mx
ORCID: 0009-0002-5504-6009

Cristian Ricardo Ortega Ramírez
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
cristian.ortega@comunidad.unam.mx
ORCID: 0009-0003-1073-6492

Rebeca Valenzuela Argüelles
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
rebecav@unam.mx
ORCID: 0009-0002-8243-3258

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

Hernández Mayorga, M. A., Ortega Ramírez, C.R. y Valenzuela Argüelles, R. (2025). Adaptación de Open Journal Systems para el proceso de evaluación de recursos en la Red Universitaria de Aprendizaje. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (20 - 64). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135

Resumen

El proceso de evaluación para garantizar la calidad de los recursos educativos a publicar en la Red Universitaria de Aprendizaje ha sido una prioridad de este proyecto desde su planteamiento. Ante el crecimiento del equipo evaluador y el volumen de propuestas, se analizaron diferentes plataformas digitales con el propósito de mejorar dicho proceso, lo cual motivó la búsqueda de una solución que permitiera sistematizar sus distintas etapas, que se habían realizado de manera manual

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 21 - 64

durante varios años. La solución consistió en personalizar un sistema de software libre, originalmente diseñado para la publicación de revistas académicas, mediante el desarrollo de *plugins* que permitieron incorporar información estructurada conforme a los requerimientos del proyecto. Se documentaron los desafíos técnicos del proceso, se construyó un entorno de desarrollo controlado y se llevaron a cabo pruebas iterativas con usuarios para ajustar el flujo de trabajo y verificar el funcionamiento de los *plugins* desarrollados. La integración de funcionalidades específicas permitió registrar, evaluar y dictaminar recursos educativos con mayor eficiencia, asegurando al mismo tiempo la trazabilidad del proceso. El sistema adaptado se utilizó en una convocatoria institucional y demostró su viabilidad en un contexto operativo real, aportando una mejora sustancial frente a los métodos previos. Esta experiencia mostró cómo es posible adecuar herramientas tecnológicas existentes a necesidades particulares sin comprometer su estabilidad ni sus principios de diseño.

Palabras clave:

Evaluación de recursos educativos, desarrollo de *plugins*, *plugins* para OJS, adaptación de software libre.

Abstract

The evaluation process to ensure the quality of the educational resources to be published on the Red Universitaria de Aprendizaje has been a priority of this project since its establishment. In response to the growth of the evaluation team and the volume of proposals, different digital platforms were analyzed with the aim of improving the process. This motivated the search for a solution that would allow systematizing their different stages, which had been done manually for several years. The solution consisted in personalizing an open-source system, originally designed for academic magazine publication, through the development of plugins that allowed to incorporate structured information pursuant to the project requirements. The technical challenges of the process were documented, a controlled development environment was built and iterative testing was done with users to adjust the workflow and verify the operation of developed plugins. Specific functionalities integration allowed to register, evaluate and rule educational resources with greater efficiency, ensuring at the same time the traceability of the project. The adapted system was used in an institutional call and demonstrated its viability in a real operative context, contributing a substantial improvement in comparison of previous methods. This experience showed how it is possible to adequate existing technological tools for particular needs without compromising its stability nor its design principles.

Keywords:

Educational resources evaluation, plugin development, plugins for OJS, open source software adaptation.

1. INTRODUCCIÓN

La Red Universitaria de Aprendizaje (RUA) es un proyecto que nació en el 2012 con la intención de reunir y publicar recursos digitales asociados a los planes de estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La RUA es una plataforma tecnológica que permite apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje en diferentes modalidades educativas, por medio de materiales educativos digitales, libres y gratuitos, con

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 22 - 64

la intención de que el docente proporcione el contexto a cada uno de ellos dentro de la dinámica prevista para su clase.

Este sistema es un importante escaparate para la producción de los docentes de la institución, ya que brinda la oportunidad de publicar, en un mismo espacio, todo el trabajo que se genera al respecto, de modo que sea aprovechado por la comunidad universitaria y por todas aquellas personas que estén interesadas en los diversos temas abordados.

A diferencia de otros sistemas de su categoría, los cuales clasifican los recursos educativos de forma temática, en la RUA, se planteó que los materiales apoyaran a las asignaturas que se imparten en la UNAM desde la concepción de este proyecto, por lo que éstos se clasifican de acuerdo con los programas correspondientes con el objetivo de que su contenido, nivel, orientación y calidad sean congruentes con lo que se imparte en cada uno de ellos; esto es posible por medio de un proceso de evaluación.

La gestión para el envío, evaluación y dictamen de recursos que se publican en la RUA se había llevado a cabo de manera manual hasta ahora, utilizando hojas de cálculo para el registro de información y el correo electrónico como medio principal de comunicación entre autores y evaluadores. Este proceso se había afinado con el tiempo hasta tenerlo cuidadosamente sistematizado, lo cual había permitido avanzar en la organización y seguimiento de los recursos aprobados, rechazados o condicionados; sin embargo, implicaba retos en términos de tiempo, esfuerzo y capacitación necesarios para asegurar un flujo de trabajo controlado, ordenado y estandarizado a lo largo de las distintas fases del mismo.

El objetivo de este documento es presentar el proceso de análisis, diseño, desarrollo e implementación que se llevó a cabo, con la finalidad de automatizar el proceso de recepción, evaluación y comunicación de resultados para las propuestas de publicación de recursos educativos en la Red Universitaria de Aprendizaje.

2. HISTORIA DEL PROCESO DE EVALUACIÓN EN LA RUA

La Red Universitaria de Aprendizaje es un proyecto institucional que ha tenido que evolucionar en diversos aspectos para poder atender las necesidades que se han ido presentando a lo largo de su historia dentro de la UNAM, con el fin de mantener su prestigio como uno de los principales espacios digitales que ofrecen recursos educativos de calidad para la comunidad universitaria y la sociedad en general.

Al inicio, la recopilación de recursos se realizó por un grupo de curadores y catalogadores[1] que se dedicaron a analizar los planes y programas de estudio de la UNAM, quienes tenían por objetivo identificar recursos adecuados. En ese momento, la prioridad fue cubrir con al menos un recurso por tema en cada uno de los programas del sistema de bachillerato de la UNAM para que éste cumpliera con la lista de cotejo que se definió con el fin de asegurar la calidad inicial mínima necesaria (Valenzuela, en prensa).

1 En ese momento, las actividades de curación y catalogación se realizaron por un solo equipo de trabajo capacitado para ambas tareas. El equipo estaba integrado por un bibliotecólogo y sus demás miembros eran de diferentes disciplinas, como Matemáticas, Pedagogía, Historia, Física, entre otras. La curación, como se indica en el cuerpo del texto, se realizó con base en los temas indicados en los planes y programas de estudio correspondientes. Estos recursos se catalogaron por dicho equipo y, más tarde, docentes de las asignaturas evaluaron la pertinencia de cada uno de los recursos propuestos para definir si debían estar publicados o no.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 23 - 64

Más tarde, los recursos recuperados por los catalogadores eran evaluados en campañas con docentes de las respectivas asignaturas y eran ellos quienes definían los materiales que cumplían con lo necesario para su publicación. Es así que, de 2015 a 2017, se llevaron a cabo siete campañas de evaluación en las que se analizaron casi diez mil recursos por cerca de quinientos profesores.

A partir de 2016, el énfasis se hizo en la recuperación de recursos que se habían producido por académicos de la UNAM en los diferentes proyectos apoyados por la misma institución. Como resultado de dichos proyectos, se cuenta con una alta producción de materiales en diferentes medios que, en varios casos, no tenían un espacio específico en el cual publicarse. Hoy en día, la RUA es uno de los principales sitios para ello.

En 2017, se comenzaron a recibir los proyectos con un nuevo esquema y se implementó el siguiente proceso para su recepción y evaluación:

1. Recepción y análisis de documentación de la propuesta.
2. Revisión técnica.
3. Evaluación académica en comité de pares.
4. Evaluación de la calidad del servicio brindado por el equipo de la RUA durante el proceso de publicación.
5. Publicación de recursos avalados.

En 2019, se desarrolló la documentación oficial para normar dicho proceso, con el fin de dar claridad y transparencia a los docentes en un espacio específico de la propia RUA: la sección *Publica recursos*.

A partir de 2023, la propuesta de materiales se realizó mediante una convocatoria anual con un proceso de evaluación diferente, lo cual permitió tener un periodo determinado de recopilación, análisis, evaluación y publicación, además de agilizar la capacidad de respuesta a los autores.

Sin embargo, con este nuevo proceso, la cantidad de participantes en la evaluación creció y era notorio que, aunque las hojas de cálculo eran útiles para llevar el control y seguimiento de las actividades, su uso requería de una organización rigurosa y, en algunas ocasiones, dificultaba obtener una visión clara del avance en el proceso de evaluación y publicación de los recursos educativos, debido a la cantidad de información registrada sobre cada recurso (metadatos, datos de contacto del responsable del recurso, dictámenes, entre otros).

3. METADATOS DE LA RUA

Los metadatos, de acuerdo con Miller (2022), pueden ser definidos como información que describe otros recursos informativos tales como libros, archivos de audio, conjuntos de datos científicos, imágenes digitales, etcétera.

La RUA emplea una adaptación del estándar de metadatos Learning Object Metadata (LOM), el cual fue desarrollado específicamente para describir objetos de aprendizaje, incluyendo metadatos pedagógicos esenciales como el nivel educativo y el contexto de uso, entre otros.

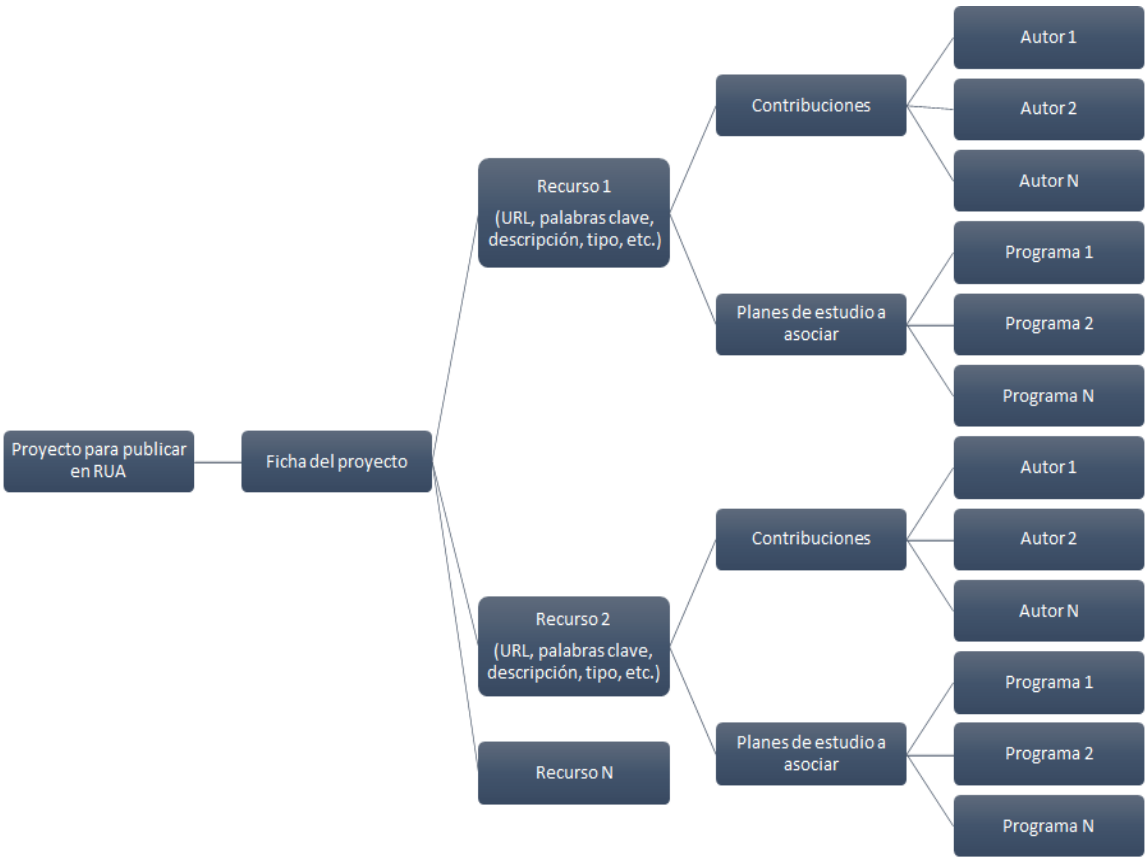
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 24 - 64

La adaptación de LOM para la RUA contempla un conjunto aproximado de 28 metadatos distribuidos en las siguientes categorías: General, Ciclo de vida, Técnica, Uso educativo, Derechos, Control, Clasificación y Portada. Más adelante, se profundizará en el hecho de que estos elementos son fundamentales para garantizar una adecuada clasificación, búsqueda y reutilización de los recursos.

Para el registro de los trabajos, se solicitó a los autores únicamente ciertos metadatos necesarios para la catalogación básica en la RUA, considerando que, para ellos, podía resultar complicado el llenado de todos aquellos campos obligatorios en la catalogación completa.

Figura 1

Registro de propuestas por recurso



Se muestran en la Figura 1, de manera general, los metadatos requeridos para el registro de propuestas por recurso y se presentan de manera detallada en el Anexo A.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 25 - 64

4. ANÁLISIS DE HERRAMIENTAS

Para solventar el inconveniente mencionado sobre la manera de gestionar la evaluación de las propuestas para la publicación de recursos educativos, se planteó la posibilidad de sistematizar el proceso por medio de alguna plataforma que permitiera brindar el seguimiento necesario.

4.1 ANÁLISIS DE OJS

La primera opción fue utilizar un sistema gestor de artículos cuyo flujo editorial resultaba cercano al proceso que se llevaba a cabo en la RUA. En ese sentido, se identificó al Open Journal Systems (OJS) como uno de los principales softwares de gestión y publicación de revistas académicas, el cual fue desarrollado por el Public Knowledge Project y lanzado en 2002 (Public Knowledge Project, s.f.-a).

La plataforma OJS ha sido diseñada específicamente para reducir el tiempo dedicado a las tareas de gestión asociadas a la edición de una revista, al tiempo que mejora el mantenimiento de registros y la eficiencia de los procesos editoriales (Willinsky, 2005). Además, este tipo de infraestructura digital acompaña todos y cada uno de los pasos del editor, apoyando de manera integral las tareas editoriales en un ritmo y magnitud que no podrían lograrse sin su apoyo (Hartstein & Blümel, 2021).

De acuerdo con Tabatadze (2024), dentro los componentes clave de OJS destacan:

- Gestión integral del flujo editorial: permite gestionar todo el proceso editorial desde la recepción de manuscritos hasta la publicación final, facilitando la comunicación entre los distintos actores que intervienen en el proceso.
- Automatización de procesos: la plataforma agiliza tareas clave como la asignación de revisores, el control de revisiones y la generación de metadatos, reduciendo la carga de trabajo manual.
- Accesibilidad y personalización: al ser un software de código abierto, es accesible para cualquier institución y puede adaptarse a las necesidades específicas de éstas, tanto en diseño como en funcionalidad mediante el uso de *plugins*.

Durante el análisis de la plataforma OJS como posible herramienta para la gestión de propuestas de recursos educativos para la RUA, se identificó una limitación clave relacionada con los metadatos. OJS utiliza el estándar de metadatos Dublin Core, ampliamente reconocido en la gestión de información académica y bibliográfica, el cual permite describir los artículos publicados mediante 15 elementos clave como título, autor, resumen y palabras clave, entre otros. Aunque OJS cubre la mayoría de los requerimientos del proceso editorial de la RUA, no ofrece de forma nativa una manera sencilla y directa de agregar campos de metadatos personalizados sin recurrir a modificaciones en el código o al desarrollo de *plugins*. Esta limitación se vuelve especialmente relevante en el contexto de la RUA, donde se requería adaptar un esquema específico de metadatos basado en LOM para una descripción pedagógica más precisa de los recursos. Además, como se advierte en los foros oficiales de PKP, modificar la estructura de metadatos sin un enfoque cuidadosamente diseñado puede generar inconsistencias y afectar la estabilidad del sistema (Asmecher, 2017).

Se decidió explorar herramientas alternativas que pudieran ofrecer mayor flexibilidad al considerar las limitaciones descritas anteriormente en la personalización de metadatos en OJS. En este contexto, se realizó el análisis de la plataforma Kotahi.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 26 - 64

4.2 ANÁLISIS DE KOTAHI

Kotahi es una plataforma adaptable y personalizable, diseñada para investigadores, que satisface las diversas necesidades de Publicación-Revisión-Curación (PRC) y los modelos emergentes de publicación académica. La flexibilidad de Kotahi permite ajustar el sistema para satisfacer necesidades específicas (Kotahi, s.f.). Esta descripción de la plataforma permitió considerar que se trataba de una alternativa a OJS, dada su flexibilidad para ser adaptada a diversas aplicaciones académicas.

Sin embargo, cuando se llevó a cabo la instalación para realizar las pruebas de la misma, se identificó que Kotahi está relacionada fuertemente con el sistema ORCID (Open Researcher and Contributor ID, s.f.), en el cual se requiere un identificador para cada autor. Esto no resultaba práctico para el caso de la RUA, en donde quienes proponen trabajos son principalmente docentes y la gran mayoría de ellos no cuentan con dicho dato. Además, para el caso específico de la RUA, el contar con un ORCID no es algo esencial, dado que no se realiza la publicación de un trabajo de investigación, sino de un recurso digital con fines didácticos, lo cual no precisa los mismos estándares que una publicación científica.

Con estos resultados, se decidió retomar y profundizar en la posibilidad técnica de adaptar OJS para incorporar los metadatos que no contempla de forma nativa y que son requeridos para el registro de recursos en la RUA. El análisis comparativo para la identificación de los metadatos a incorporar se encuentra en el Anexo A.

5. DESARROLLO TÉCNICO

La documentación oficial de OJS recomienda el uso de *plugins* como mejor práctica para ampliar las capacidades de la plataforma. Este enfoque permite añadir funcionalidades adicionales sin modificar el núcleo del sistema, lo que facilita las actualizaciones a nuevas versiones de OJS sin riesgo de perder personalizaciones ni introducir errores en el sistema base. Además, los *plugins* favorecen una arquitectura modular y flexible, permitiendo la activación, desactivación y actualización independiente de las extensiones, lo cual asegura que el funcionamiento general de la plataforma no se vea afectado (Public Knowledge Project, 2025).

5.1 METODOLOGÍA

En este contexto, el uso de *pair programming* (programación en pareja) resulta altamente relevante. Esta metodología ha demostrado ser particularmente eficaz en equipos que enfrentan tareas con un alto nivel de novedad. Según estudios recientes, la *pair programming* fomenta que los miembros del equipo compartan una comprensión común del proyecto y se apoyen mutuamente, lo que contribuye significativamente al rendimiento del equipo frente a retos complejos y desconocidos (Kude et al., 2019). Al trabajar de manera simultánea en el mismo código, los desarrolladores no sólo resuelven problemas de forma más rápida, sino que también comparten conocimientos y refuerzan la calidad del código mediante interacciones continuas.

La colaboración estrecha que ofrece la *pair programming* permite una mejor integración de nuevas funcionalidades como los *plugins*, ya que la constante retroalimentación y la solución conjunta de problemas aceleran el proceso de desarrollo. Además, esta técnica ayuda a mejorar la eficiencia del equipo al enfrentar la complejidad de las tareas, favoreciendo la innovación colaborativa y el intercambio

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 27 - 64

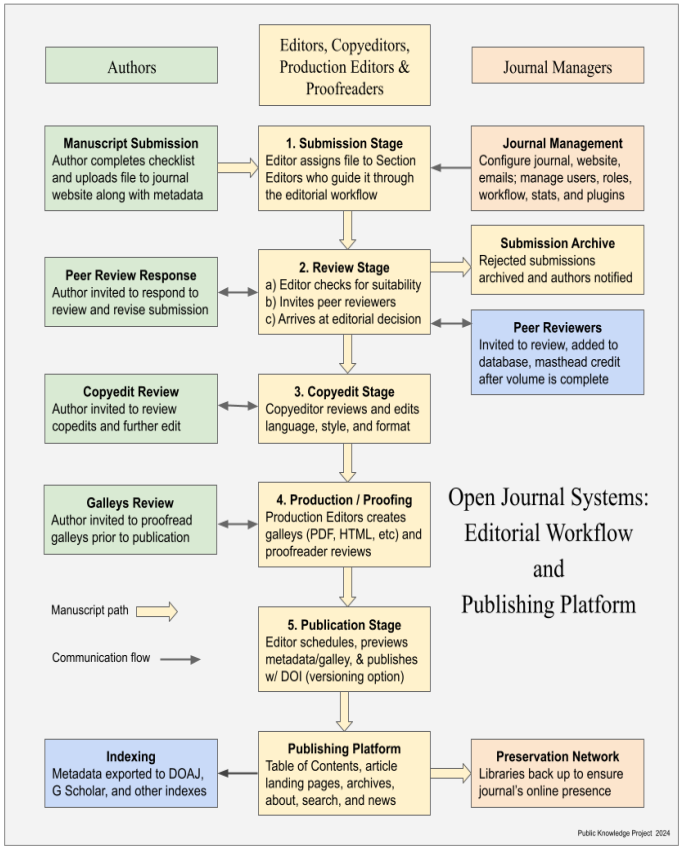
de conocimientos. Estudios previos han mostrado que este enfoque aumenta la productividad, la calidad del código y promueve la innovación en el desarrollo de software (Tan et al., 2024). Por ello, en este proyecto, la *pair programming* se presenta como una metodología adecuada para el desarrollo de los *plugins* necesarios que amplíen las capacidades de OJS sin comprometer la estabilidad de la plataforma.

5.1.1 ANÁLISIS

En esta fase, se llevó a cabo una revisión de la documentación oficial de OJS, con el objetivo de comprender el flujo de trabajo que utiliza la plataforma, prestando especial atención a la forma en que se gestionan los metadatos a lo largo del proceso editorial. Esta revisión permitió identificar en qué momentos se capturan, editan y exponen los metadatos dentro del sistema, información clave para determinar los puntos donde sería necesaria una adaptación (ver Figura 2).

Figura 2

Flujo de trabajo de OJS



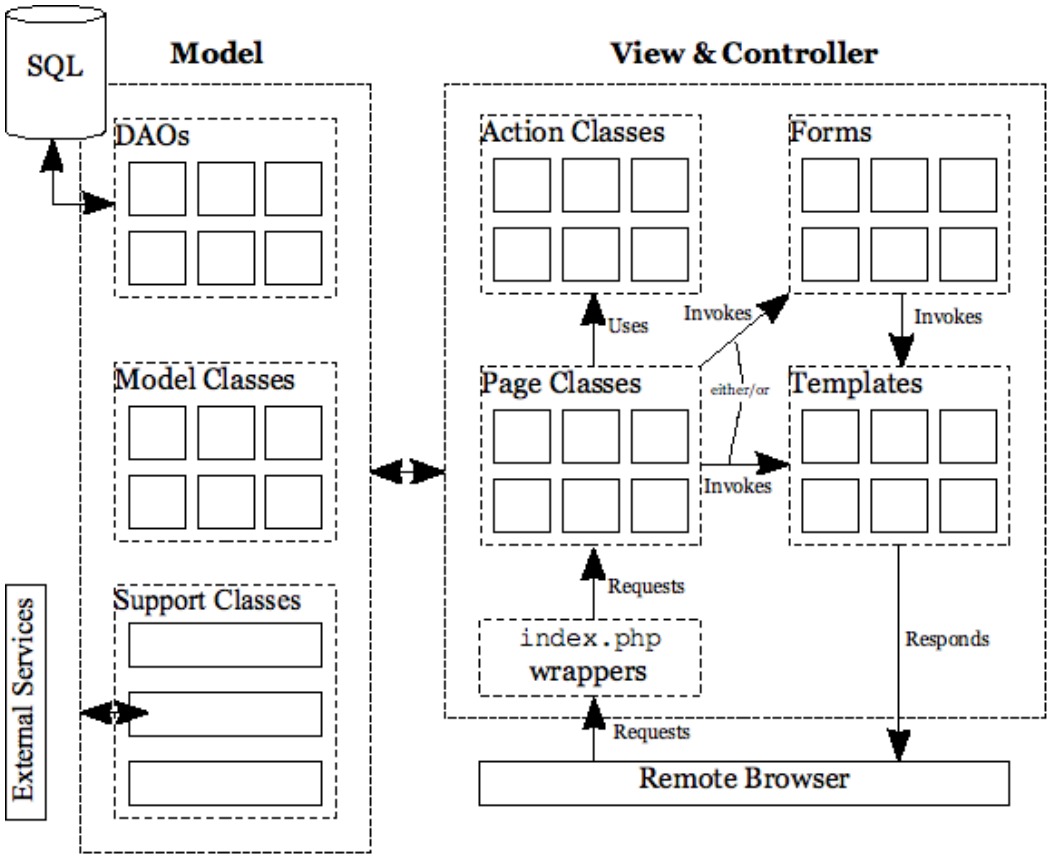
Nota: De Open Journal Systems, por Public Knowledge Project, s.f.-c (https://pkp.sfu.ca/wp-content/uploads/2024/06/OJS-Workflow-and-Platform-2024.png)

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 28 - 64

Paralelamente, se realizó un análisis técnico de la arquitectura y los componentes principales de OJS, con el fin de entender cómo se estructura internamente la plataforma y bajo qué principios opera su sistema de extensiones. Este conocimiento fue fundamental para diseñar e implementar los *plugins* requeridos de manera compatible con el núcleo de OJS (ver Figura 3).

Figura 3

Componentes y arquitectura de OJS



Nota: De Open Journal Systems: Technical documentation. Introduction, de Public Knowledge Project, s.f.-d (https://docs.pkp.sfu.ca/ojs-2-technical-reference/en/2_introduction)

Además, OJS define diferentes categorías de *plugins* que permiten extender la funcionalidad de la plataforma de manera controlada. Estas categorías determinan en qué momento del ciclo de vida del sistema se cargan y qué aspectos del comportamiento o de la interfaz pueden modificar. Entre las principales categorías, se encuentran los *plugins* de bloques, de informes, de metadatos, de autenticación, de temas, de publicación, entre otros.

Dada la anterior información y a partir del análisis de los requerimientos específicos para la gestión de metadatos adicionales en los recursos educativos propuestos para la RUA, se identificó que sería necesario desarrollar cuatro *plugins* personalizados (ver Tabla 1). Cada uno de ellos responde a una necesidad particular del proceso de captura, almacenamiento, visualización o exposición de metadatos, y su diseño

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 29 - 64

se alineó con las categorías definidas por OJS para asegurar su correcta integración y compatibilidad con la plataforma. Esta estrategia permitió mantener una arquitectura flexible, escalable y conforme a las buenas prácticas recomendadas por la documentación oficial del sistema.

Tabla 1

Definición de plugins a desarrollar

Nombre	Descripción	Categoría de plugin
ruaMetadata	Incluye los metadatos personalizados en los formularios de nuevo envio[2] y edición de envío	Genérico
ruaTheme	Sobreescribe las plantillas para mostrar los metadatos en un concreto y agrupados por categoría	Tema
ruaReport	Exporta los datos de los envíos incluyendo los metadatos personalizados	Reporte
ruaOAIDim	Expone los metadatos personalizados en el formato DIM mediante el protocolo OAI-PMH	oaiMetadataFormats

5.1.2 IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo y prueba de los *plugins*, se optó por crear un entorno de trabajo basado en contenedores. Esta elección respondió a la necesidad de disponer de un entorno controlado y reproducible a lo largo de las distintas etapas del proyecto.

Se utilizó la tecnología de contenedores Docker, ya que, gracias a su naturaleza de código abierto y a la gestión centralizada a través de registros de imágenes, facilita la creación de entornos uniformes para desarrollo, pruebas y producción (Wang, 2022). Una vez configurado el entorno de desarrollo, este puede ser encapsulado como una imagen de contenedor [3], almacenado en un repositorio y posteriormente desplegado en otros entornos sin modificaciones, lo que garantiza la consistencia funcional y reduce significativamente los errores derivados de diferencias en la configuración del sistema.

Este entorno controlado se construyó a partir del proyecto oficial pkp/docker-ojs[4], alojado en GitHub, cuya arquitectura base sólo contempla dos servicios. Sin embargo, para este proyecto, se implementaron tres servicios interconectados mediante una red interna. La elección de las imágenes de contenedor fue crucial para asegurar la compatibilidad: el servicio ojs utilizó la imagen pkpofficial/ojs con la etiqueta

2 Un envío en OJS es el registro formal de un trabajo académico presentado por un autor a través del sistema, el cual incluye la carga del manuscrito y los metadatos correspondientes.

3 Una imagen de contenedor es un archivo ejecutable e independiente que se utiliza para crear un contenedor. Esta imagen de contenedor contiene las bibliotecas, las dependencias y los archivos que el contenedor necesita para ejecutarse.

4 Proyecto base para el entorno de desarrollo (https://github.com/pkp/docker-ojs), actualmente archivado. Los esfuerzos de provisión de imágenes Docker para herramientas PKP se consolidaron en el nuevo repositorio (https://github.com/pkp/containers).

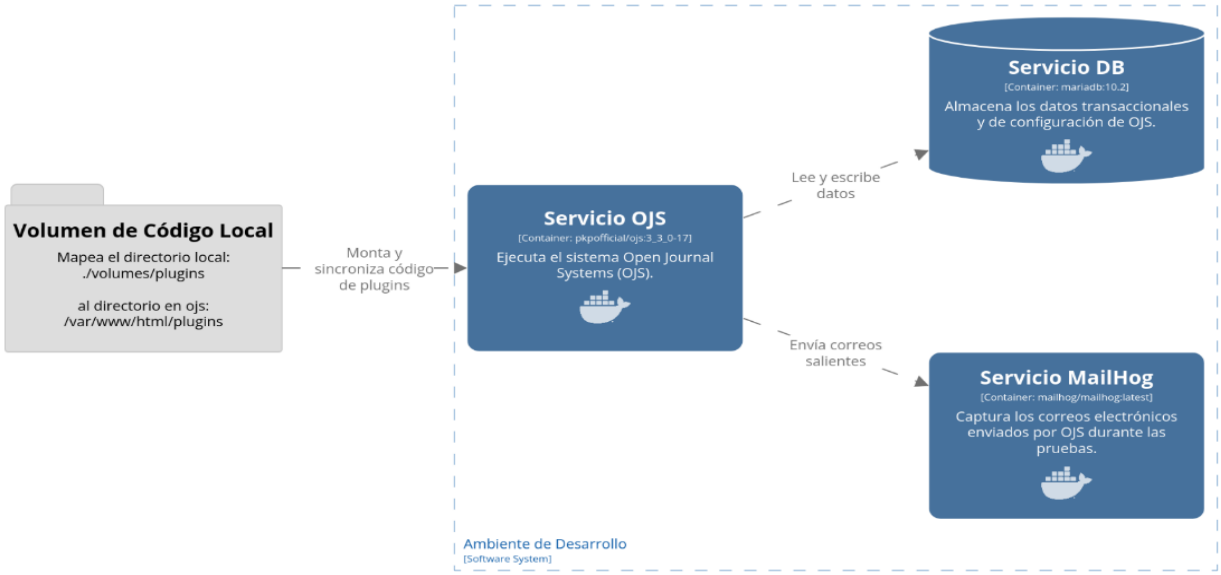
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 30 - 64

3_3_0-17; el servicio db utilizó la imagen mariadb:10.2; y, de forma adicional, se incorporó el servicio mailhog con la imagen mailhog/mailhog:latest, esencial para capturar los correos electrónicos enviados por OJS durante las pruebas.

La estrategia clave para la programación fue el mapeo de volúmenes: se implementó un *volume mount* que replicó el directorio interno de *plugins* del contenedor (/var/www/html/plugins) en el directorio local del equipo anfitrión (./volumes/plugins). Esta disposición permitió editar el código fuente directamente sobre el sistema de archivos local, lo que integró de forma fluida el versionado del código fuente de los *plugins* con el flujo de trabajo de desarrollo y aseguró la trazabilidad de las modificaciones. En la Figura 4, se muestra un esquema del entorno de desarrollo.

Figura 4

Entorno de desarrollo



Al contar con un entorno controlado y replicable, fue posible centrarse en la implementación funcional de los *plugins*, asegurando que su comportamiento fuera consistente a lo largo de las distintas fases de prueba. A continuación, se detallan los aspectos clave del desarrollo de los *plugins*, incluyendo su estructura, integración con la arquitectura de OJS y las herramientas utilizadas durante el proceso.

5.1.3 DESARROLLO DE PLUGINS

Para este proyecto, se aplicó la técnica *Driver-Navigator* de *Pair Programming* descrita por Bolboacă (2021), ajustada a la dinámica particular del equipo de desarrollo. La estrategia consistió en asignar a cada desarrollador la responsabilidad principal sobre dos de los cuatro *plugins*, manteniendo dicha responsabilidad independientemente del rol (*driver* o *navigator*) que desempeñaba durante las sesiones de desarrollo colaborativo. De este modo, cada desarrollador tuvo la tarea de garantizar la correcta funcionalidad e integración de los componentes desarrollados en los *plugins* de los que era responsable.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 31 - 64

Durante las sesiones de trabajo conjunto, los roles de *driver* y *navigator* se alternaron a lo largo del desarrollo de todos los *plugins*. El *driver* se enfocó en ejecutar las implementaciones acordadas, aplicar correcciones y validar los resultados en tiempo real; mientras que el *navigator* revisó el código conforme se escribía, detectó posibles problemas de integración y propuso soluciones alternativas. Esta dinámica fortaleció la colaboración en un entorno donde el equipo tenía experiencia limitada con OJS.

***Plugin* ruaMetadata**

Este *plugin* pertenece a la categoría de *plugins* genéricos. Este tipo de *plugins* son extensiones diseñadas para añadir funcionalidades personalizadas que no encajan en otras categorías de *plugins* como temas, bloques o reportes. Permiten engancharse a distintos puntos de extensión del sistema (*hooks*), para modificar comportamientos, insertar *scripts*, validar formularios, interactuar con servicios externos o automatizar tareas específicas del flujo editorial. A diferencia de otros tipos de *plugins* más estructurados, los genéricos ofrecen libertad para implementar lógica personalizada. Esta versatilidad los convierte en una herramienta poderosa para adaptar OJS a necesidades particulares de una revista o institución.

Este *plugin* se desarrolló con el objetivo de satisfacer la necesidad de agregar los metadatos del estándar LOM adaptado para la RUA que no están contemplados dentro del esquema Dublin Core utilizado por OJS.

La primera etapa del desarrollo de este *plugin* consistió en identificar los puntos de extensión (*hooks*) adecuados para insertar los campos adicionales en el formulario correspondiente. Una vez identificados, se implementó la lógica necesaria para incorporar los nuevos metadatos y asegurar su almacenamiento persistente en la base de datos.

Un reto significativo en este proceso fue la identificación de los *hooks* y formularios adecuados, ya que muchos de ellos no están documentados oficialmente, lo que requirió una exploración detallada del código fuente de OJS. Aunque la guía de desarrollo de *plugins* proporciona algunos ejemplos y menciona los *hooks* más comunes, la lista no es exhaustiva. De hecho, la propia documentación de OJS recomienda buscar directamente en el código fuente la llamada a los *hooks* para descubrir todos los puntos de extensión disponibles en la versión 3.3. Esta limitación documental obligó al equipo de desarrollo a realizar un análisis manual del núcleo del sistema, rastreando el flujo de ejecución de las interfaces de usuario y los formularios involucrados en la edición de metadatos. Dicha tarea implicó no sólo localizar los *hooks* adecuados (ver Tabla 2), sino también comprender su contexto de ejecución y la estructura interna del sistema para insertar correctamente la lógica personalizada del *plugin* sin afectar la estabilidad general de la plataforma.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 32 - 64

Tabla 2

Hooks implementados en el plugin ruaMetadata

Nombre del Hook	Descripción	Rol del sistema que ocupa el hook
Schema::get::submission	Permite agregar nuevos campos personalizados al esquema del envío.	Autor
Templates::Submission::SubmissionMetadataForm::AdditionalMetadata	Se usa para inyectar contenido personalizado en la plantilla del formulario de metadatos del envío en el *backend* de OJS. Está pensado para complementar campos personalizados agregados desde el esquema con *hooks* como Schema::get::submission	Autor
submissiondao::getAdditionalFieldNames	Permite a los plugins registrar campos adicionales personalizados para que sean incluidos automáticamente en las operaciones de carga y almacenamiento del envío. Es necesario cuando se agregan campos personalizados al esquema de un envío y se requiere que esos campos persistan correctamente en la base de datos.	Autor
submissionsubmitstep3form::execute	Permite intervenir en el momento en que el sistema guarda los metadatos del envío, para procesar o guardar campos personalizados que el autor haya llenado.	Autor y Editor
submissionsubmitstep3form::initdata	Se dispara cuando el sistema inicializa los datos del formulario del paso 3 del proceso de registro. Su propósito es precargar en el formulario los datos existentes del envío. Es necesario cuando se agregan campos personalizados y se requiere mostrar la información capturada previamente en el formulario.	Autor y Editor
submissionsubmitstep3form::readuservars	Permite que campos personalizados agregados al formulario de registro sean leídos correctamente desde la solicitud del usuario, y estén disponibles para ser procesados y guardados.	Autor y Editor

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 33 - 64

Nombre del Hook	Descripción	Rol del sistema que ocupa el hook
Form::config::before	Permite modificar la configuración de cualquier formulario basado en componentes antes de que se muestre en pantalla, lo que posibilita agregar o modificar campos sin alterar directamente el código del sistema.	Editor
Publication::edit	Permite intervenir justo antes de que se guarde una publicación en OJS, lo que es útil para aplicar validaciones, establecer valores por defecto o modificar datos personalizados definidos en el esquema.	Editor
Templates::View::RuaMetadata	Hook de elaboración propia que permite modificar la plantilla que muestra los metadatos de un envío a los revisores para incluir los metadatos adicionales agregados al esquema.	Revisor
Common::UserDetails:: AdditionalItems	Permite extender la información mostrada en las vistas de detalles de usuarios en el backend de OJS. Es utilizado para mostrar campos personalizados o datos derivados del comportamiento del usuario.	Autor
Templates::View:: RegistrationForm	Permite inyectar contenido personalizado en el formulario de registro de usuario de OJS. Es útil para agregar campos adicionales o mostrar contenido contextual.	—
Templates::View:: ReviewerSearch	Permite agregar contenido personalizado a la interfaz de búsqueda de revisores, útil para mostrar instrucciones, advertencias o complementos visuales.	Editor

En el Anexo B, se ilustra la diferencia entre los formularios originales para el registro y edición de un envío, los formularios modificados que incluyen los campos para la captura de los metadatos adicionales y fragmentos relevantes del código implementado.

Plugin ruaTheme

Este *plugin* pertenece a la categoría de Tema. Estos *plugins* son extensiones diseñadas específicamente para modificar la apariencia visual de una revista, sin alterar su lógica de funcionamiento. Esto favorece

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 34 - 64

una arquitectura limpia, donde las personalizaciones visuales se mantienen separadas del núcleo de OJS, facilitando el mantenimiento y la actualización del sistema.

Dichos *plugins* permiten cambiar colores, tipografías, distribución de bloques, plantillas y estilos para adaptar el diseño del sitio a una identidad visual particular. Los temas pueden heredar de otros temas base y sobrescribir estilos o plantillas específicas.

En este caso particular, el *plugin* fue desarrollado con el objetivo de organizar visualmente la información en los formularios de metadatos. Específicamente, se requería agrupar los campos en secciones temáticas: recurso, proyecto, plan de estudio y notas. Para lograr esta organización, fue necesario sobrescribir secciones específicas de las plantillas existentes de la plataforma y, en ciertos casos, reemplazar completamente las plantillas originales con versiones adaptadas desde el *plugin*.

El principal desafío en este proceso consistió en modificar la interfaz administrativa de OJS, ya que los *plugins* de temas están diseñados principalmente para alterar la apariencia de la interfaz pública y no para intervenir en la administrativa. A partir de la versión 3 de OJS, este tipo de personalización presenta mayores dificultades y riesgos técnicos. La documentación oficial advierte que realizar cambios en esta sección del sistema conlleva un alto riesgo de comprometer su estabilidad, por lo que únicamente se recomienda a desarrolladores con experiencia avanzada y un conocimiento profundo de la arquitectura interna de la plataforma (Public Knowledge Project, s. f.-b).

Aunque es posible introducir modificaciones visuales en la interfaz administrativa, como sustituir algunas plantillas o aplicar estilos propios, esta capacidad no está bien documentada y cualquier intervención puede tener efectos colaterales difíciles de prever o rastrear. Para reducir los riesgos asociados a esta tarea, se llevó a cabo un análisis minucioso del código fuente de los componentes relevantes con el fin de identificar con precisión los elementos que podían adaptarse sin afectar el funcionamiento general del sistema. Esto permitió garantizar tanto la estabilidad de la plataforma como la implementación exitosa de una apariencia coherente en la interfaz administrativa.

En la Tabla 3, se listan las plantillas adaptadas y la modificación principal.

Tabla 3

Plantillas y modificación principal

Plantilla	Descripción	Modificación
submission/form/step3.tpl	Esta plantilla corresponde al formulario del paso 3 del registro de un envío, el cual está relacionado con la captura de sus metadatos.	Se modificó para incluir el formulario personalizado maquetado en la plantilla submission/submissionMetadataFormField.tpl
submission/submissionMetadataFormFields.tpl	Esta plantilla cumple un rol clave en la visualización de los campos del formulario de metadatos dentro del flujo de registro o edición de un envío.	Se modificó para incluir un *Hook* personalizado usado para agregar y agrupar por temática los campos del formulario para los metadatos adicionales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 35 - 64

Plantilla	Descripción	Modificación
controllers/modals/submission/viewSubmissionMetadata.tpl	Esta plantilla se encarga de presentar a los usuarios con rol de revisor, la información de los metadatos del envío a dictaminar.	Se modificó para incluir un *Hook* personalizado para visualizar los valores de los metadatos adicionales.
frontend/components/registrationForm.tpl	Esta plantilla genera el formulario de registro de nuevos usuarios en el sistema.	
user/contactForm.tpl	Esta plantilla define el formulario utilizado para registrar o editar la información de contacto de un colaborador, como un autor o coautor, dentro del proceso editorial.	Se modificó para cambiar el campo del formulario que corresponde a la información de la afiliación del usuario. El campo original es un campo de texto y se reemplazó por un campo de tipo selección con los valores de todas las entidades y dependencias de la UNAM precargados, mediante un *Hook* personalizado.
user/public/publicProfileForm.tpl	Esta plantilla define el formulario que permite a un usuario autenticado editar la información de su perfil público, es decir, los datos que otros usuarios pueden ver sobre él dentro del sistema, principalmente en la interfaz pública.	
controllers/grid/users/reviewer/form/advancedSearchReviewerForm.tpl	Esta plantilla define la interfaz del formulario de búsqueda avanzada de revisores, permitiendo a los editores filtrarlos y seleccionarlos con base en diversos criterios.	Se modificó para visualizar correctamente el valor del campo afiliación, seleccionado durante el registro del usuario, mediante un *Hook* personalizado.
common/userDetails.tpl	Esta plantilla está asociada a la visualización de los detalles de un usuario dentro de la interfaz administrativa. Se utiliza para mostrar información básica del perfil de un usuario registrado dentro del sistema.	

En el Anexo C, se ilustra la diferencia entre la presentación de los datos en el formulario original, la organización lograda mediante la plantilla modificada, incorporada a través del *plugin* de tema, y fragmentos relevantes del código implementado.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 36 - 64

***Plugin* ruaReport**

Este *plugin* pertenece a la categoría de Reporte. Éstos son extensiones diseñadas específicamente para generar informes y exportar datos del sistema relacionados con artículos, envíos, usuarios, estadísticas, decisiones editoriales, entre otros; asimismo, permiten extraer datos estructurados en formatos como CSV, XML o JSON, facilitando su análisis, uso institucional o integración con otros sistemas. Posibilita generar informes altamente personalizados según las necesidades del equipo editorial sin depender de los reportes predefinidos del sistema.

El *plugin* fue desarrollado con el objetivo de facilitar la exportación de información relacionada con los envíos, incluyendo tanto los metadatos estándar como aquellos adicionales incorporados mediante el *plugin* ruaMetadata. Su principal funcionalidad consiste en organizar y presentar estos datos según las agrupaciones temáticas previamente definidas, lo que permite una estructuración más clara y útil para su análisis. Esta capacidad de clasificación temática mejora la comprensión del contenido por el equipo que gestiona el proceso editorial.

En el Anexo D, se muestra la figura con un ejemplo de un reporte visualizado en un programa de hoja de cálculo y fragmentos relevantes del código implementado.

***Plugin* ruaOAIDim**

Se identificó que OJS permite exponer los datos de los envíos a través del protocolo Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH). Este protocolo proporciona un mecanismo estandarizado para la recolección de metadatos desde diversas fuentes, facilitando el acceso a los mismos mediante una interfaz unificada (Tkachov, 2024). Esta funcionalidad es esencial para promover la interoperabilidad entre plataformas y sistemas de información académica.

Este *plugin* pertenece a la categoría de oaiMetadataFormats, dichos *plugins* permiten agregar formatos de metadatos que OJS puede manejar a través del protocolo OAI-PMH. Este tipo de *plugins* definen cómo será el nuevo esquema de metadatos, además de su estructura XML, espacio de nombres (namespace) y validación, extendiendo la interoperabilidad de la plataforma con distintos servicios que recolectan información de manera automatizada.

En este caso, el *plugin* que se desarrolló agrega compatibilidad con el formato DIM (DSpace Interoperability Metadata). Este formato es especialmente útil porque admite campos de metadatos más complejos y personalizados, lo que permite reflejar con mayor detalle la información que acompaña a cada envío. Gracias a esta integración, los datos adicionales que se incluyen en los recursos pueden ser correctamente expuestos mediante OAI-PMH (Das & Sutradhar, 2018). El objetivo principal de esta integración es proveer un mecanismo para que los recursos que sean aceptados puedan ser recolectados por la RUA u otras plataformas compatibles en el futuro, cumpliendo con los estándares de interoperabilidad y preservación de información académica.

En el Anexo E, se presentan figuras que ilustran la pantalla de exportación de datos en el protocolo OAI-PMH, proporcionando una visualización detallada del proceso de extracción y exposición de los metadatos a través de este protocolo, así como fragmentos relevantes del código implementado.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 37 - 64

6. DISEÑO Y PRUEBA DEL FLUJO DE TRABAJO

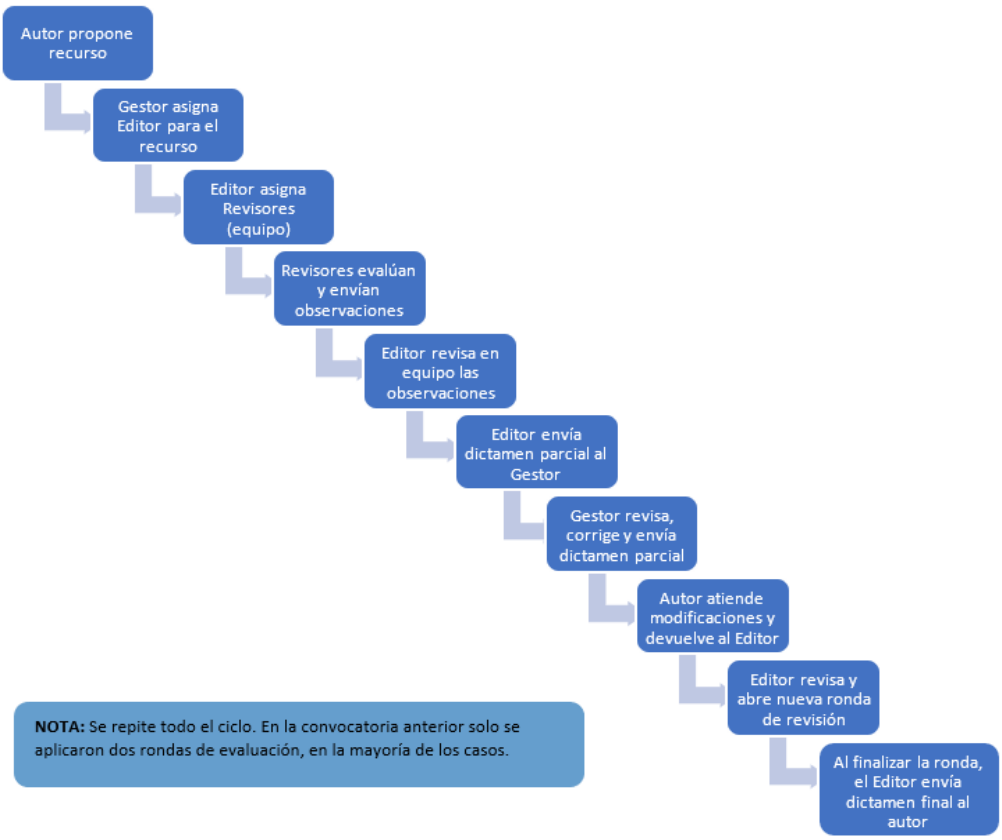
Con base en el documento redactado para guiar el trabajo de evaluación de la convocatoria 2025, con título "Informe de análisis del sistema. Open Journal Systems", en esta sección, se describe brevemente el análisis, diseño y pruebas que se llevaron a cabo para el planteamiento del flujo de trabajo en OJS, con el fin de llevar a cabo el seguimiento, evaluación y selección de recursos para publicar en la RUA.

6.1 FLUJO DE TRABAJO

El planteamiento del flujo de trabajo se llevó a cabo mientras se completaba el desarrollo necesario para incorporar los metadatos faltantes, descrito en las secciones anteriores de este documento; para ello, se realizó el análisis de las posibilidades de la plataforma en su proceso enfocado a revistas y sus similitudes con el planteado en la convocatoria y, más tarde, se ejecutaron varias etapas de pruebas con el fin de afinar iterativamente dicho flujo de trabajo dentro de OJS, el cual quedó definido como se muestra en la Figura 5 (Valenzuela, comunicación personal, 2024).

Figura 5

Flujo de trabajo OJS-RUA



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 38 - 64

Dentro del flujo definido, se consideraron los siguientes roles:

- **Gestor.** Organiza todo el trabajo de evaluación de recursos, verifica y envía los dictámenes parciales y da seguimiento a todo el proceso.
- **Autor.** Realiza la propuesta de recursos para su evaluación por medio de metadatos y componentes de OJS (documentos).
- **Editor.** Verifica la llegada de los metadatos y componentes de OJS (documentos) y asigna los recursos a los revisores (es el responsable del equipo de evaluación). Coordina la evaluación y emisión de dictamen parcial y final, así como envía el dictamen final al autor.
- **Revisores.** Evalúan los recursos asignados y devuelven al editor sus observaciones en cada ronda necesaria (son los miembros del equipo de evaluación).

6.2 PRUEBAS

Se llevaron a cabo pruebas individuales durante todo el proceso de definición del flujo de trabajo en OJS y, más tarde, con el primer planteamiento ajustado, se llevaron a cabo tres ciclos de pruebas con un grupo de 7 personas que más tarde participaron en el proceso de evaluación para la convocatoria 2025.

El objetivo fue identificar las situaciones técnicas reales que se desalineaban respecto al flujo definido para la evaluación en dicha convocatoria. Este proceso permitió determinar la configuración y flujo de trabajo finales y, así, atender de manera óptima las propuestas de los docentes para su correcto seguimiento, evaluación y posterior publicación de recursos digitales aprobados en la Red Universitaria de Aprendizaje.

6.2.1 PRUEBAS INDIVIDUALES

Con el fin de plantear una primera propuesta de configuración y flujo de trabajo, se realizaron nueve flujos completos de recursos de manera individual por parte de la responsable de esta actividad. Esto permitió la definición del proceso que se sometió a las pruebas grupales, empleando las funcionalidades y recursos de OJS para asemejar lo más posible un proceso editorial a un proceso de evaluación de recursos educativos.

Roles participantes en la primera etapa

- **Autor.** Realiza una propuesta de recursos por medio del llenado de los metadatos extendidos en OJS.
- **Editor.** Verifica la información de los recursos y los asigna a los revisores.
- **Revisores.** Evalúan los recursos asignados y devuelven al editor su documento de evaluación.

El flujo original planteado fue el siguiente:

1. Asignación de editor
2. Asignación de revisor
3. Revisión

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 39 - 64

4. Notificación al editor
5. Notificación al autor

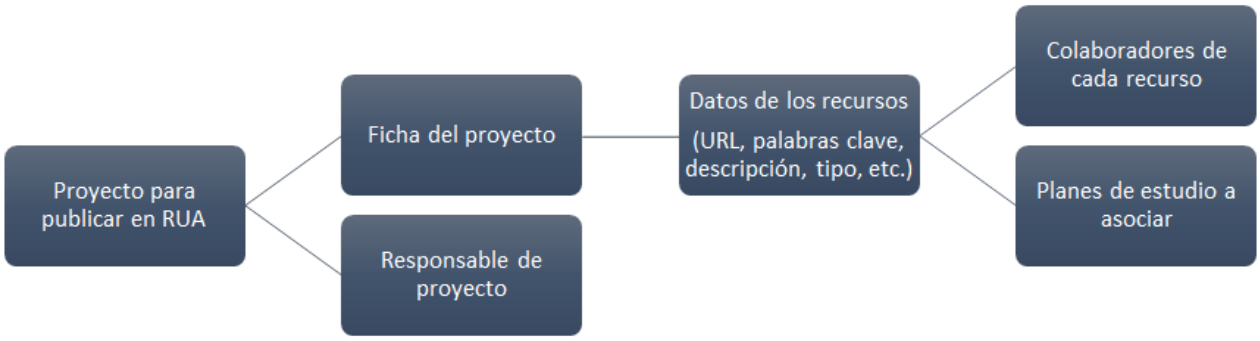
En este caso, se propuso que el editor tuviera privilegio para registrar decisiones editoriales y no se consideró la presencia de un Gestor; además, originalmente se planteó que las propuestas fueran por proyecto.

Debido a que una propuesta de artículo no tenía manera de registrar subproductos, en el esquema de envío de proyectos, se tenía que regresar al documento en Excel que antes llenaban los profesores con las especificaciones para cada recurso que lo integraba, lo cual era justamente lo que quería evitarse. Es por ello que se determinó que, a partir de ese momento, el envío de propuestas se realizaría por recurso, de manera que cada uno contara con todos los metadatos debidamente registrados.

Todas estas decisiones llevaron a la modificación del registro de propuestas en OJS que se había propuesto originalmente, el cual se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Registro de propuestas por proyecto



El registro de propuestas por recurso se muestra en la sección de Metadatos (ver Figura 1).

6.2.2 PRUEBAS GRUPALES

Se realizaron tres sesiones con el grupo de usuarios, las cuales permitieron revisar de manera detallada el flujo de trabajo en la plataforma, así como los permisos necesarios para cada rol en todas las fases.

En este proceso, participó una gestora, una editora, tres revisores, un autor y una coordinadora de la prueba.

Primera sesión

Se describen las actividades realizadas para esta primera aproximación de los usuarios al flujo:

- Se llevó a cabo la presentación del objetivo del proyecto de automatización de la evaluación de recursos para la siguiente convocatoria de la RUA.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 40 - 64

- Se realizó el primer ejercicio de propuesta de un recurso para la prueba de cuentas de todos los usuarios.
- Se identificó la necesidad de tres niveles de roles, en lugar de dos que se habían considerado de inicio (Editor y Revisor): se planteó la importancia de considerar a un Gestor, además del Editor y el de los Revisores, con el fin de organizar los equipos de trabajo con un responsable y registrar todas las aportaciones de los integrantes en la plataforma, además de mantener un rol que coordinara todo el trabajo de evaluación (Gestor). Esta modificación se reflejó en el documento de flujo de trabajo (se realizaron 5 versiones con base en todos los hallazgos de las pruebas).
- Se identificó que era necesario otorgar permisos amplios a los autores debido a la necesidad de compartir con ellos los dictámenes parcial y final por medio de documentos PDF.

Segunda sesión

- Esta sesión llegó hasta la primera ronda de revisión del recurso, pues se encontró que, si un usuario inicia la segunda ronda de manera anticipada por error, ya no se puede concluir el proceso completo en la primera.

Tercera sesión

- Se explicó todo el flujo de principio a fin, considerando al Gestor y al Editor, así como la revisión de dictámenes parciales antes de su envío al Gestor.
- Se replicó dicho flujo, desde la propuesta de un nuevo recurso hasta la emisión del dictamen final, con base en el documento definitivo que se generó.
- Se identificaron los espacios idóneos de OJS para compartir documentos internos y los que se requerían entregar al autor.

7. RESULTADOS

El desarrollo e implementación de los *plugins* permitió extender la funcionalidad de la plataforma OJS, integrando en su flujo los metadatos requeridos para catalogar los recursos propuestos en la RUA. Esto permitió el uso de OJS como herramienta de gestión para las etapas de recepción, revisión y dictaminación de dichos recursos.

Uno de los principales beneficios de esta solución es que permitió garantizar un proceso automatizado, estandarizado y trazable, tanto en la gestión del proceso como en la comunicación con los autores. Además, se logró la exposición de los metadatos mediante un formato estándar de interoperabilidad, específicamente OAI-PMH, con el objetivo de facilitar la importación de los recursos aprobados al sistema de la RUA.

La versión adaptada de la plataforma se empleó en la convocatoria 2025 de la RUA. La implementación del flujo de trabajo completo dentro de la plataforma se llevó a cabo de manera satisfactoria y permitió gestionar eficientemente todas las etapas involucradas en la recepción, evaluación y dictaminación de los recursos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 41 - 64

Como se aborda a lo largo del documento, la definición de dicho flujo fue el resultado de un proceso iterativo de pruebas que permitió identificar los aspectos que se requerían adaptar en la plataforma para ser utilizada en un contexto que no es aquel para el cual fue diseñada.

8. CONCLUSIONES

La adaptación de la plataforma OJS mediante el desarrollo e integración de *plugins* específicos es una solución para la automatización del proceso de evaluación de los recursos propuestos en el marco de la RUA. La incorporación de metadatos especializados y la utilización del flujo de trabajo en OJS contribuyeron a fortalecer la estandarización y eficiencia del proceso. La experiencia obtenida durante la convocatoria 2025 confirma la utilidad y pertinencia de esta implementación.

Estos desarrollos asegurarán una integración efectiva entre los flujos editoriales ofrecidos por OJS y los requerimientos particulares de catalogación y descripción didáctica que caracterizan a los recursos de la RUA, permitiendo así mantener la coherencia con su modelo de gestión de recursos educativos digitales.

Uno de los próximos pasos fundamentales consiste en migrar la funcionalidad de los *plugins* desarrollados, así como del flujo de trabajo planteado, desde OJS 3.3 hacia la versión más reciente del sistema, OJS 3.4. Esta actualización no sólo responde a la necesidad de mantener la compatibilidad y seguridad de la plataforma, sino también a los cambios estructurales significativos introducidos en esta nueva versión.

Este proceso permitirá tanto extender la vida útil de los *plugins* y aprovechar las nuevas capacidades del sistema como facilitar su mantenibilidad a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los siguientes miembros del grupo por todas sus aportaciones al proyecto: Gestora, Gabriela Bañuelos Sandoval; Editora, María del Carmen Ramos Nava; Revisora, Laura Azucena Lira Jiménez; Revisor, Emilio José Quiroz Galván; Revisor y Asesor técnico, Alan López de Jesús y Autor, Daniel González Lorenzo.

REFERENCIAS

Asmecher. (2017). *OJS 3 custom metadata fields* [Publicación en un foro]. Public Knowledge Project Forum. https://forum.pkp.sfu.ca/t/ojs-3-custom-metadata-fields/28674

Bolboacă, A. (2021). *Practical Remote Pair Programming: Best practices, tips, and techniques for collaborating productively with distributed development teams*. Packt Publishing. https://books.google.com.mx/books?id=HiIlEAAAQBAJ

Das, A., & Sutradhar, B. (2018). Harvesting of Additional Metadata Schema into DSpace through OAI-PMH: Issues and Challenges. *SRELS Journal of Information Management*, 1-7. https://doi.org/10.17821/srels/2018/v55i1/116603

Hartstein, J., & Blümel, C. (2021). Editors between Support and Control by the Digital Infrastructure—Tracing the Peer Review Process with Data from an Editorial Management System. *Frontiers in Research Metrics and Analytics, 6*. https://doi.org/10.3389/frma.2021.747562

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 42 - 64

Kotahi. (s. f.). *Kotahi, the future of scholar-led publishing*. About - Kotahi. Recuperado 2 de junio de 2025, de https://kotahi.community/about/

Kude, T., Mithas, S., Schmidt, C. T., & Heinzl, A. (2019). How Pair Programming Influences Team Performance: The Role of Backup Behavior, Shared Mental Models, and Task Novelty. *Information Systems Research, 30*(4), 1145-1163. https://doi.org/10.1287/isre.2019.0856

Miller, S. J. (2022). *Metadata for digital collections: A how-to-do-it manual* (Second edition). ALA Neal-Schuman.

Open Researcher and Contributor ID. (s. f.). *About ORCID*. Open Researcher and Contributor ID. https//info.orcid.org/what-is-orcid/

Public Knowledge Project. (s. f.-a). *PKP Timeline*. Simon Fraser University. Public Knowledge Project. Recuperado 30 de mayo de 2025, de https://pkp.sfu.ca/about/timeline/

Public Knowledge Project. (s. f.-b). *Theming the Editorial Backend*. Theming the Editorial Backend. Recuperado 4 de junio de 2025, de https://docs.pkp.sfu.ca/pkp-theming-guide/en/theme-backend.html

Public Knowledge Project. (s. f.-c). *OJS Workflow and Platform*. Recuperado 10 de junio de 2025, de https://pkp.sfu.ca/wp-content/uploads/2024/06/OJS-Workflow-and-Platform-2024.png

Public Knowledge Project. (s. f.-d). *Open Journal Systems MVC Diagram*. PKP Docs. Recuperado 10 de junio de 2025, de https://docs.pkp.sfu.ca/ojs-2-technical-reference/en/2_introduction.html

Public Knowledge Project. (2025). *Plugin Guide for OJS and OMP*. PKP Docs. https://docs.pkp.sfu.ca/dev/plugin-guide/3.3/en/

Tabatadze, B. (2024). Technological Aspects of Open Journal Systems (OJS). *Journal of Technical Science and Technologies, 8*(1), 23-29. https://doi.org/10.31578/jtst.v8i1.151

Tan, X., Lv, X., Jiang, J., & Zhang, L. (2024). Understanding Real-Time Collaborative Programming: A Study of Visual Studio Live Share. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 33*(4), 1-28. https://doi.org/10.1145/3643672

Valenzuela, R. (en prensa) Red Universitaria de Aprendizaje: evolución del proyecto en la UNAM en *Recursos Educativos Abiertos 3D en la enseñanza superior y el Aprendizaje Activo en entornos híbridos*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Wang, W. (2022). Research on Using Docker Container Technology to Realize Rapid Deployment Environment on Virtual Machine. *2022 8th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC)*, 541-544. https://doi.org/10.1109/ICNISC57059.2022.00112

Willinsky, J. (2005). Open Journal Systems: An example of open source software for journal management and publishing. *Library Hi Tech, 23*(4), 504-519. https://doi.org/10.1108/07378830510636300

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 43 - 64

ANEXO A. ANÁLISIS DE METADATOS RUA DISPONIBLES EN OJS

A continuación, se presenta el desglose detallado de los metadatos requeridos para la RUA. Con el objetivo de facilitar su identificación, se han marcado con las siglas OJS aquellos elementos que se localizaron en la plataforma durante el análisis descrito en el cuerpo principal del documento. Este anexo tiene como finalidad complementar dicho análisis, ofreciendo la visión comparativa que permitió identificar coincidencias, vacíos y oportunidades de alineación entre los requerimientos de la RUA y la estructura original de metadatos disponible en OJS.

NOTA: Se indican con el texto "*Incluido en OJS*" aquellos campos que, inicialmente, se identificaron como existentes, aunque no estuvieran nombrados exactamente como se requería en la RUA.

Ficha del proyecto

Tipo de proyecto

Número de proyecto PAPIME, PAPIIT o INFOCAB

Nombre oficial de proyecto ***Incluido en OJS***

Responsable de proyecto

Nombre completo del solicitante ***Incluido en OJS***

Correo responsable ***Incluido en OJS***

Entidad de adscripción ***Incluido en OJS***

Datos de los recursos

Título del recurso ***Incluido en OJS***

Localización (URL) o enlace al archivo o carpeta del recurso (Google Drive, OneDrive, Dropbox, etc.) ***Incluido en OJS***

Palabras clave (3) ***Incluido en OJS***

Descripción (general) ***Incluido en OJS***

Tipo de recurso

Descripción del uso educativo

Nivel educativo (bachillerato, licenciatura, posgrado)

Categoría (estudiante/profesor)

Derechos de autor. Descripción. ***Incluido en OJS***

Cita en formato APA

Número de ISBN o ISSN (si se cuenta con este dato)

Recurso modificable (Sí/No)

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 44 - 64

Colaboradores del recurso

Mención de responsabilidad (título, nombre, tipo - autor, compilador, coordinador, editor, etc.) ***Incluido en OJS***

Plan de estudios

Plantel donde se imparte

Nombre del plan estudios

Año del plan de estudios

Semestre / Año escolar

Asignatura (nombre y clave)

Sitio de referencia del plan de estudios "oficial" y los programas de las asignaturas (URL)

Documentos adicionales

Carta de cesión de derechos - Componente ***Incluido en OJS***

Carta aval (en algunos casos) - Componente ***Incluido en OJS***

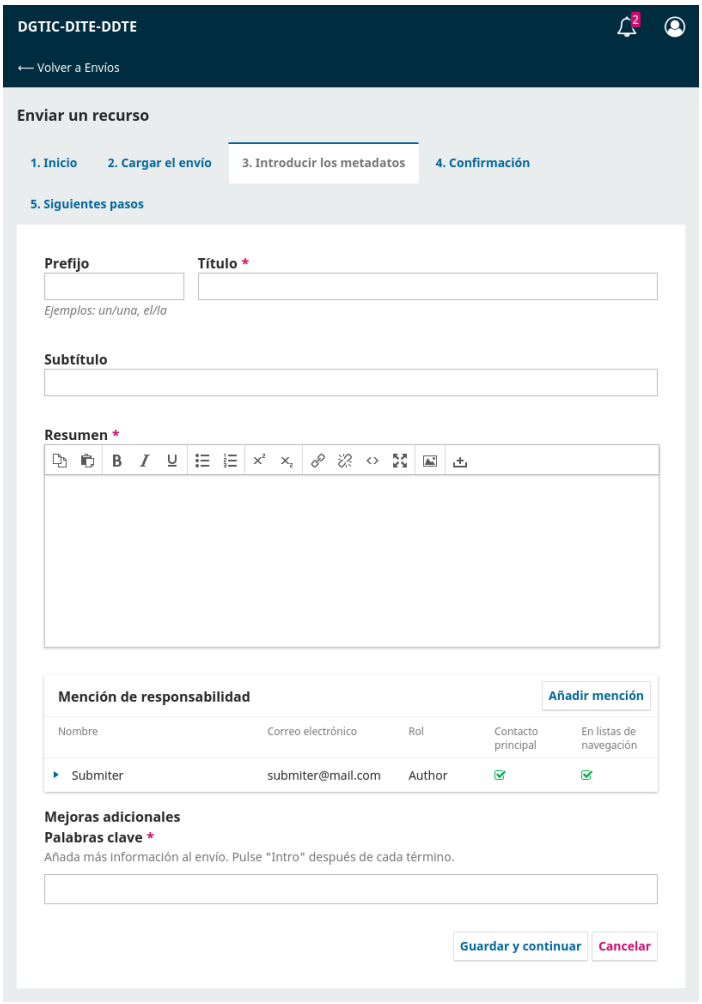
ANEXO B. COMPARATIVAS DE PANTALLAS DE OJS CON EL *PLUGIN* RUAMETADATA INSTALADO Y HABILITADO

A continuación, se presentan dos imágenes que permiten comparar el formulario de registro de un nuevo envío antes y después de la incorporación del *plugin* ruaMetadata. La Figura 7 muestra la versión original del formulario con los metadatos que utiliza OJS por defecto. En la Figura 8, se observa el formulario modificado tras la activación del *plugin*, el cual introduce nuevos campos para capturar metadatos adicionales.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 45 - 64

Figura 7

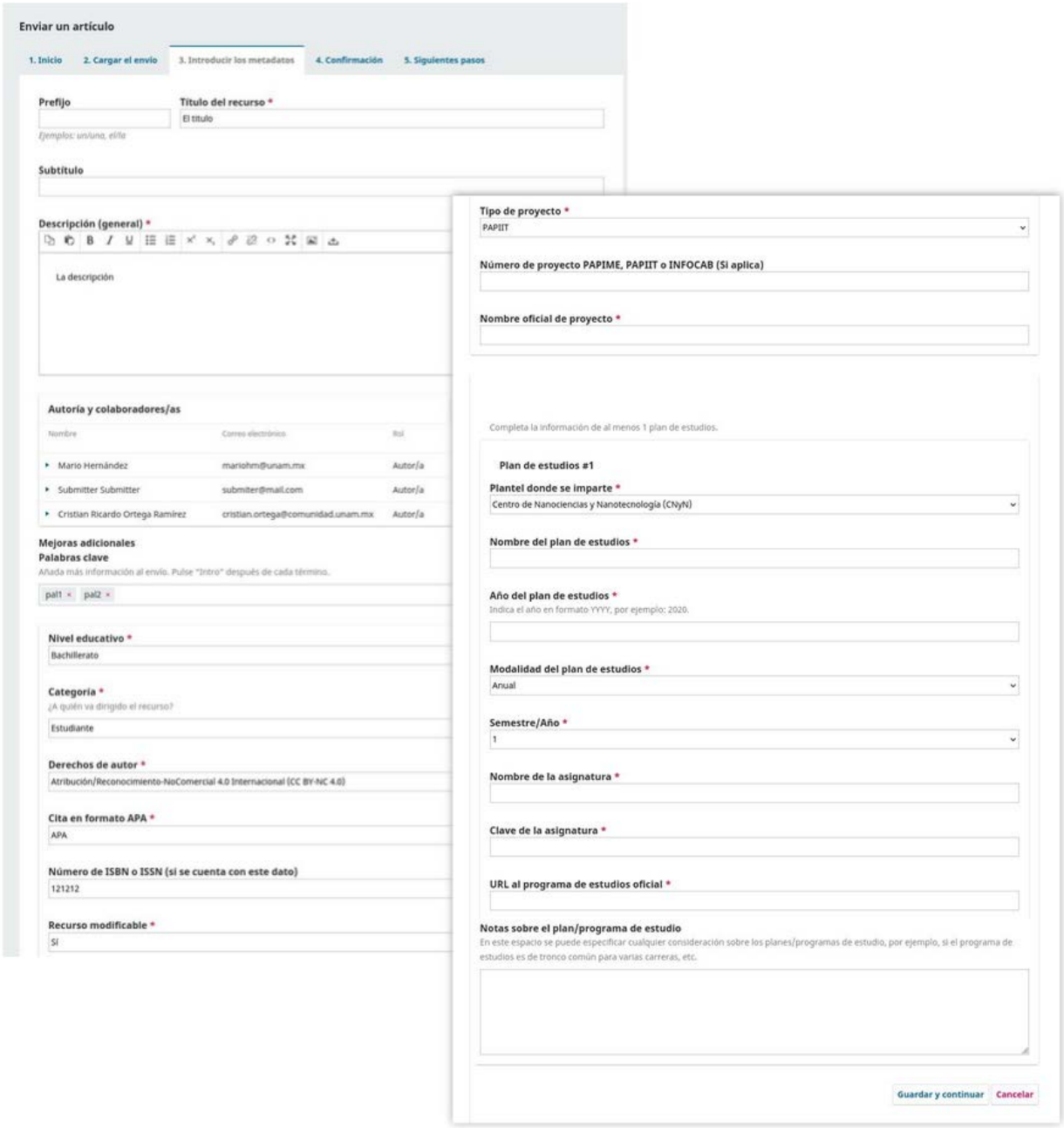
Formulario original de registro de un nuevo envío



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 46 - 64

Figura 8

Formulario de registro de un nuevo envío modificado

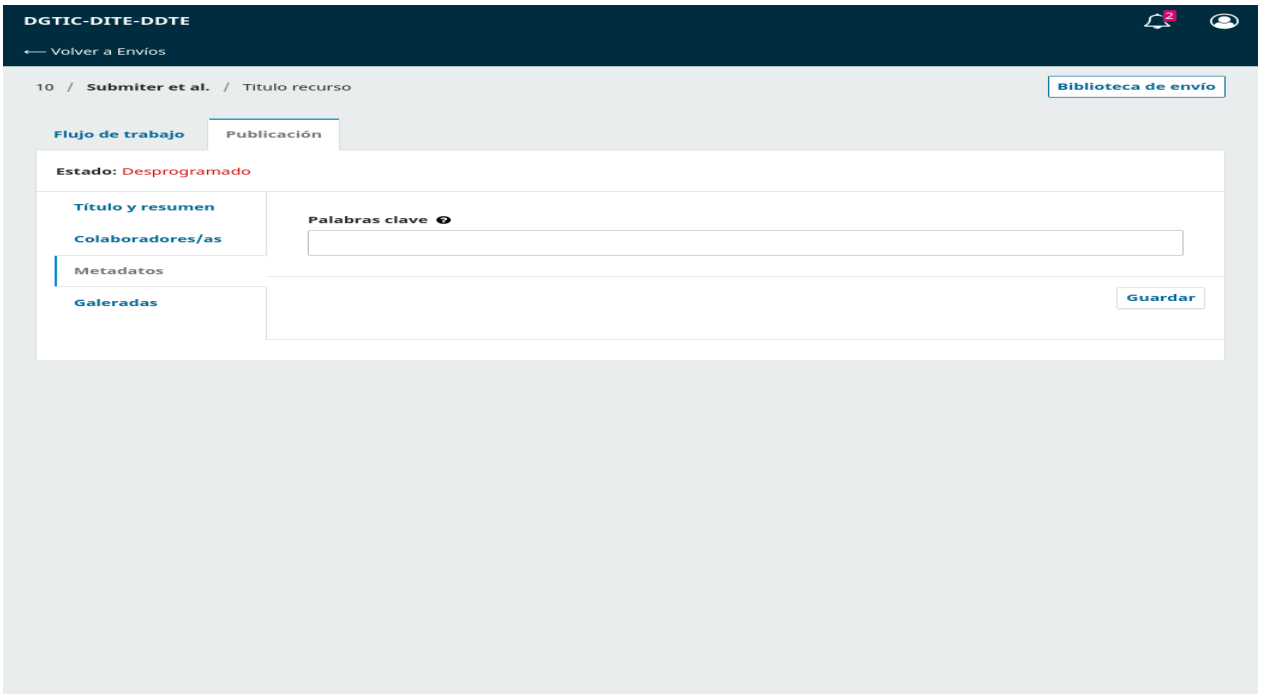


De manera complementaria, las Figuras 9 y 10 muestran el formulario de edición de un envío antes y después de la incorporación del *plugin* ruaMetadata. En la Figura 9, se observa la versión original del formulario y, en la Figura 10, se muestra el formulario ampliado tras la activación del *plugin*.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 47 - 64

Figura 9

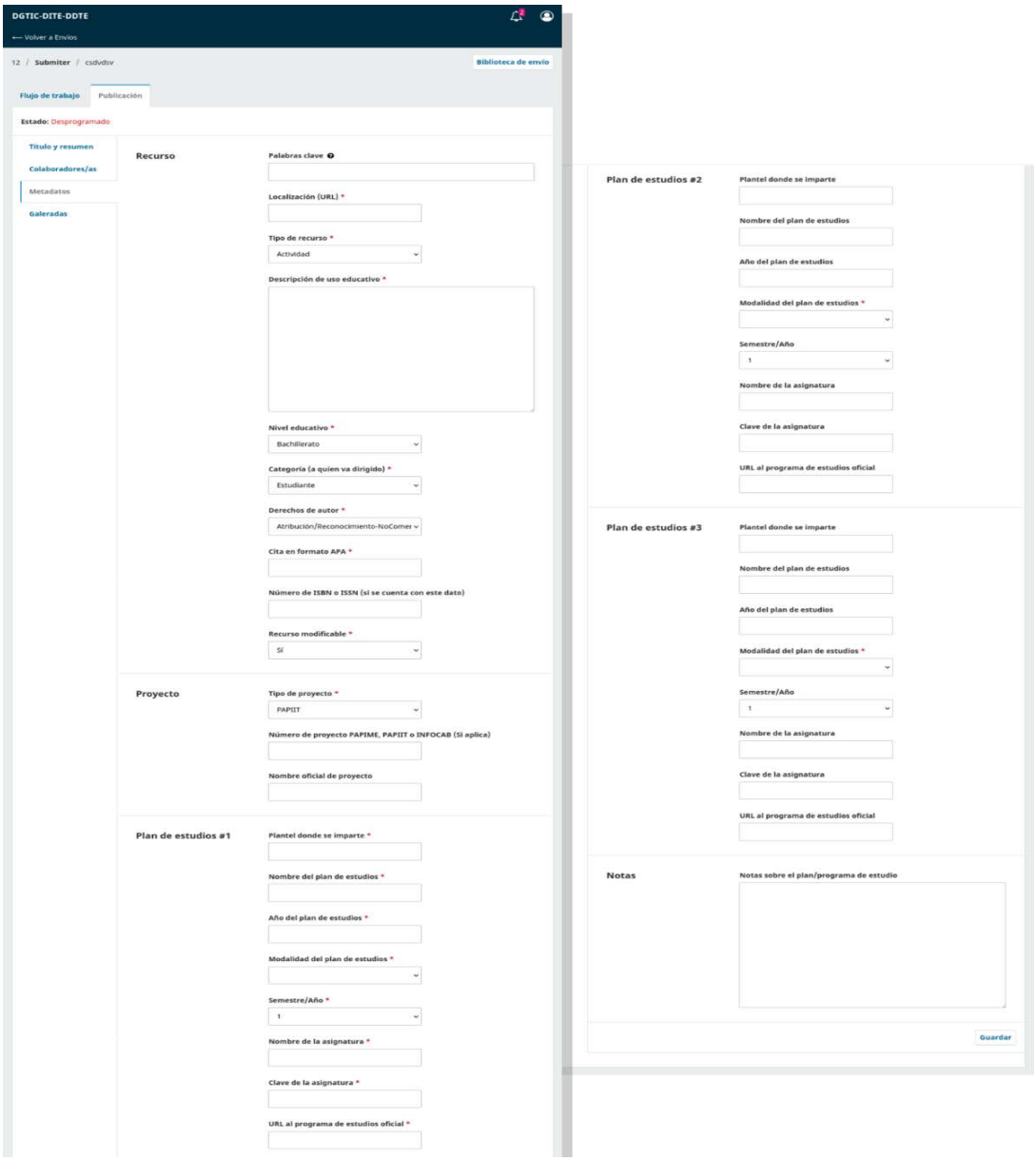
Formulario original de edición de un envío



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 48 - 64

Figura 10

Formulario de edición de un envío modificado



La Figura 11 muestra fragmentos del código fuente del *plugin* que realizan lo siguiente:

1. Registrar hooks.
2. Agregar campos al esquema del envío.
3. Hacer disponible la información en la plantilla.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 49 - 64

Figura 11

Fragmentos de código del plugin ruaMetadata

```php
<?php
import('lib.pkp.classes.plugins.GenericPlugin');

class RuaMetadataPlugin extends GenericPlugin
{
   const RUA_METADATA = [
      'nivel_educativo' => [
         'schema' => [
            'type' => 'string',
            'multilingual' => false,
            'apiSummary' => true,
            'validation' => ['required']
         ],
         'form' => [
            'clazz' => '\PKP\components\forms\FieldSelect',
            'group' => 'Recurso',
            'args' => [
               'label' => 'Nivel educativo',
               'options' => self::NIVEL_EDUCATIVO,
               'value' => '',
               'isRequired' => true
            ]
         ]
      ],
      // ...[otros metadatos similares]...
   ];

1  function register($category, $path, $mainContextId = null)
   {
      $success = parent::register($category, $path, $mainContextId);
      if ($success && $this->getEnabled($mainContextId)) {
         /** Hooks para el envío **/
         HookRegistry::register(
           'Schema::get::submission',
           array($this, 'addToSchema')
         );
         HookRegistry::register(
        'Templates::Submission::SubmissionMetadataForm::AdditionalMetadata',
         array($this, 'addFormFields')
         );
         // ... [otros hooks] ...
         $this->_registerTemplateResource();
      }
      return $success;
   }

2  public function addToSchema($hookName, $args)
   {
      $schema = $args[0];
      foreach (self::RUA_METADATA as $key => $value) {
         $schema->properties->{$key} = (object) $value['schema'];
      }
      return false;
   }

3  public function addFormFields($hookName, $args)
   {
      $smarty =& $args[1];
      $output =& $args[2];
      $smarty->assign('nivelEducativo', self::NIVEL_EDUCATIVO);
      // ... [asignaciones similares para otros metadatos] ...
      $output .= $smarty->fetch(
        $this->getTemplateResource('sectionFormAdditionalFields.tpl')
      );
      return false;
   }
   //... [otros métodos] ...
}
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 50 - 64

La Figura 12 muestra un fragmento del código fuente de la plantilla personalizada que permite incluir los nuevos metadatos.

Figura 12

Fragmento de código de la plantilla personalizada (sectionFormAdditionalFields.tpl).

```
<div  class="section pkp_controllers_grid">

    {** ... Contenido del template original ... **}

    <div class="section">
        {fbvFormSection title="Nivel educativo" for="nivel_educativo" translate=false
        required=true required=true }
            {fbvElement required=true type="select" from=$nivelEducativo
            id="nivel_educativo" translate=false selected=$nivel_educativo}
        {/fbvFormSection}
    </div>

    <div class="section">
        {fbvFormSection title="Categoría" for="categoria" translate=false required=true }
            <label class="description">¿A quién va dirigido el recurso?</label>
            {fbvElement required=true type="select" from=$categoria id="categoria"
            translate=false selected=$categoria}
        {/fbvFormSection}
    </div>

    {** ... más campos personalizados ... **}

</div>
```

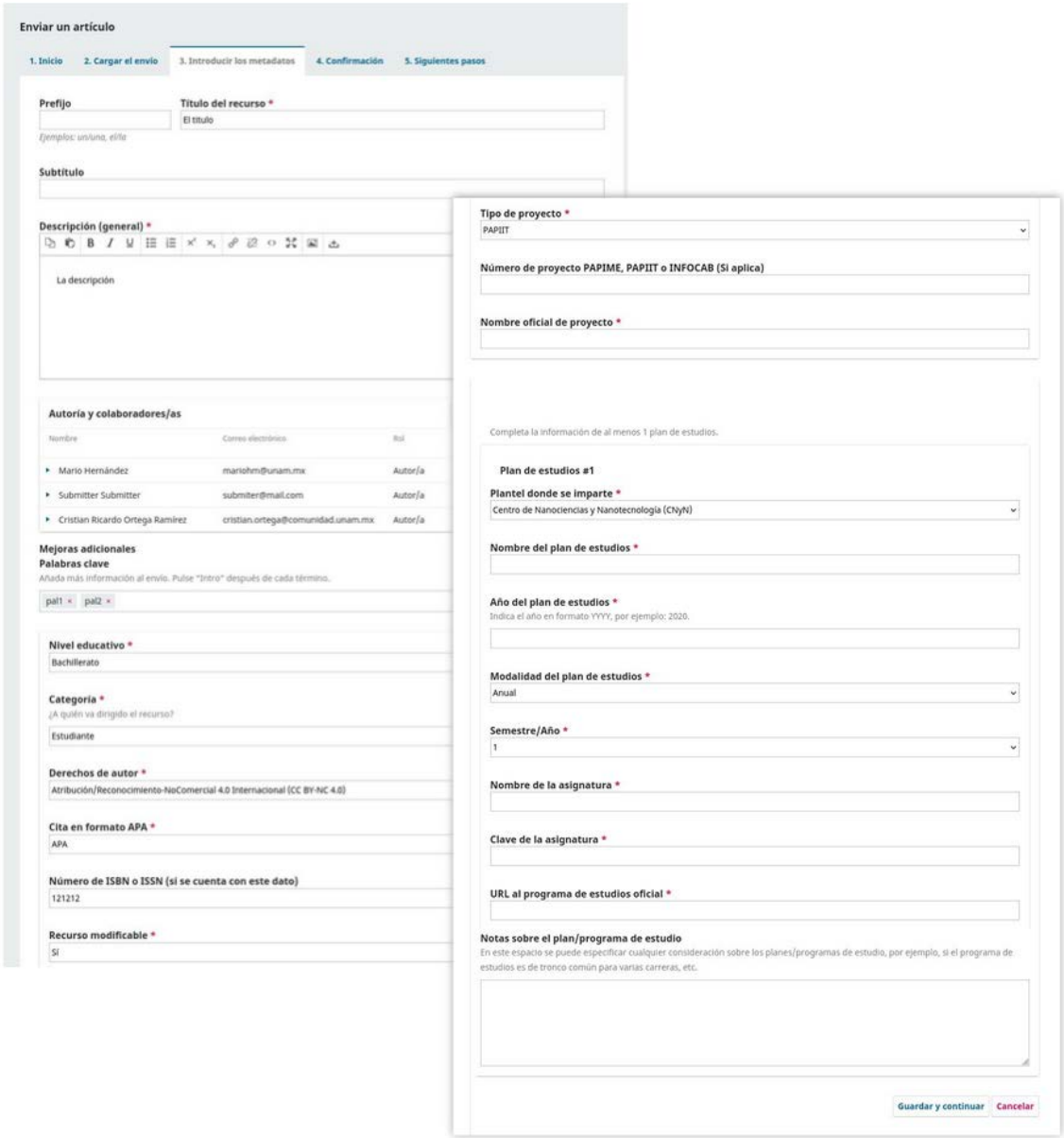
ANEXO C. COMPARATIVAS DE PANTALLAS DE OJS CON EL *PLUGIN* RUATHEME INSTALADO Y HABILITADO

A continuación, las Figuras 13 y 14 presentan una comparación entre dos versiones del formulario de nuevo envío, ambas con mejoras derivadas de la incorporación de *plugins* específicos. En la Figura 13, se muestra el formulario con el *plugin* ruaMetadata activo, el cual añade nuevos campos destinados a enriquecer la descripción del envío mediante metadatos adicionales. En la Figura 14, además de contar con dichos campos, se observa la aplicación del *plugin* ruaTheme, cuya función principal es reorganizar y agrupar los elementos del formulario en secciones temáticas. Esta estructuración mejora la claridad visual y facilita la navegación del usuario durante el proceso de registro de un envío.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 51 - 64

Figura 13

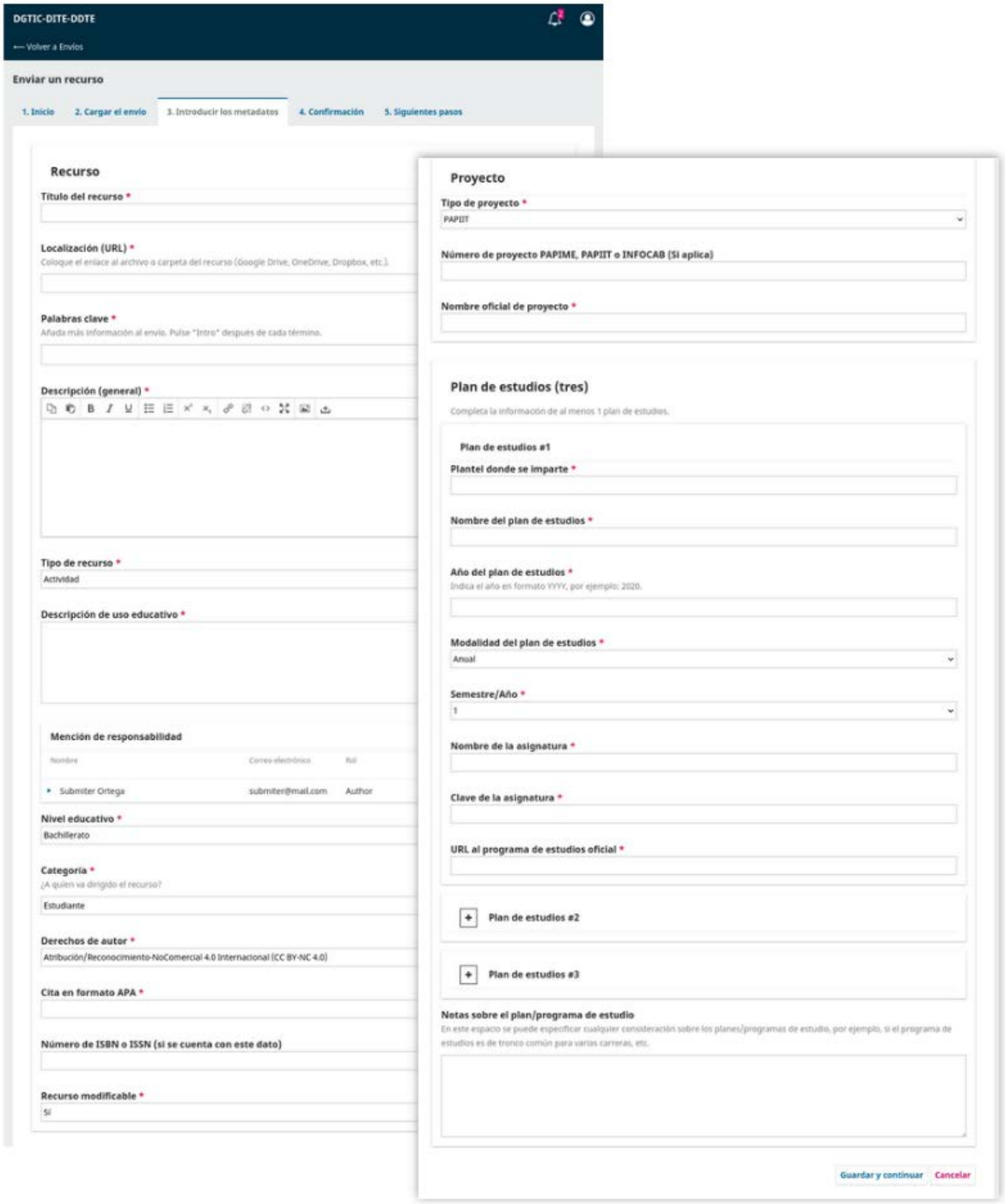
Formulario de registro de un nuevo envío con el plugin ruaMetadata



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 52 - 64

Figura 14

Formulario de registro de un nuevo "envío" con los campos ordenados y agrupados



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 53 - 64

Por otra parte, las Figuras 15 y 16 permiten comparar la ventana modal que se presenta al revisor para visualizar los metadatos de un envío, antes y después de la activación de los *plugins* ruaMetadata y ruaTheme. La Figura 15 muestra la versión original y la Figura 16 presenta la versión modificada, en la que se incluyen los nuevos metadatos definidos por ruaMetadata y se aplica la organización en secciones provista por ruaTheme. Esta nueva estructura facilita una lectura más ordenada y comprensible de la información relevante para la revisión del envío.

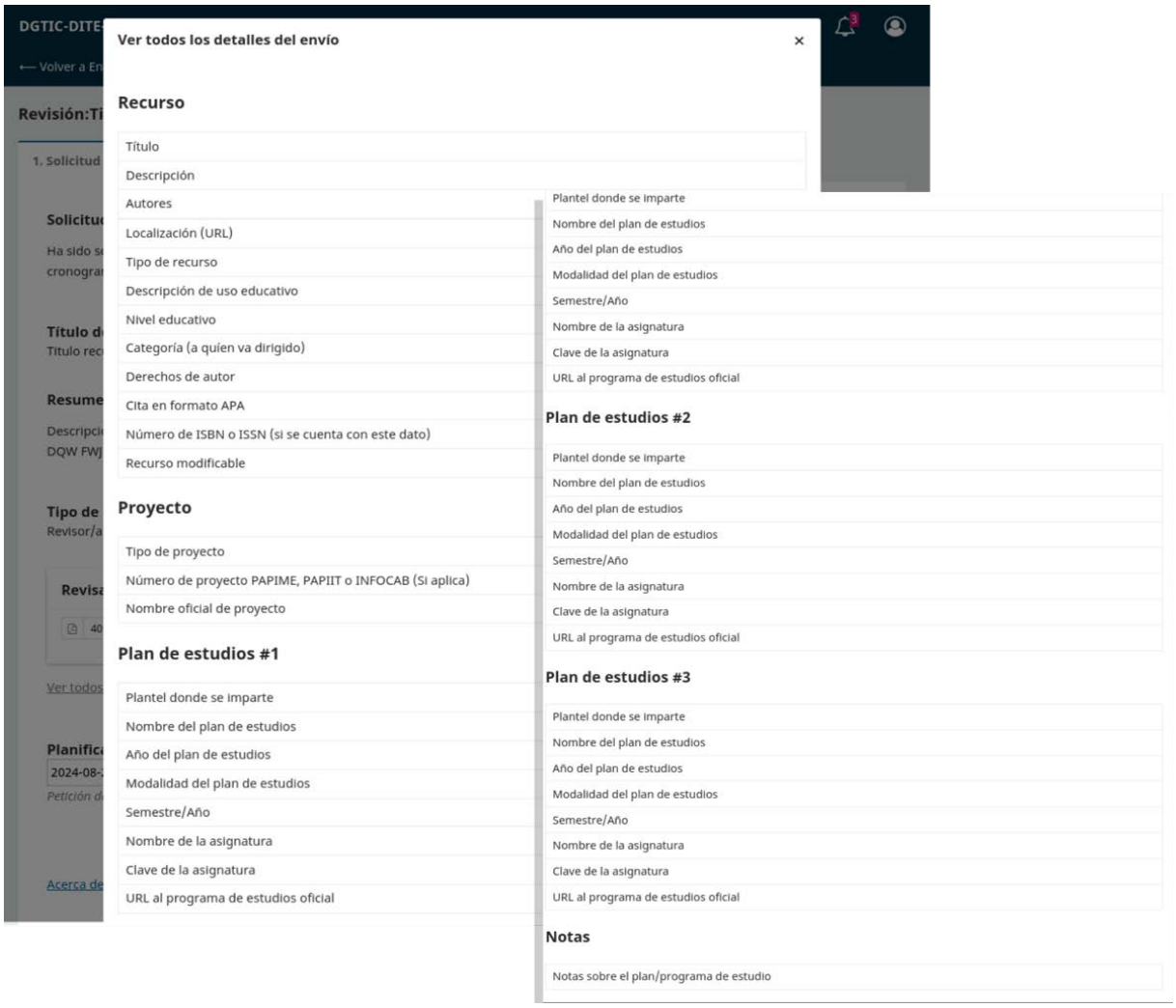
Figura 15

Ventana modal original

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 54 - 64

Figura 16

Ventana modal con los plugins activados

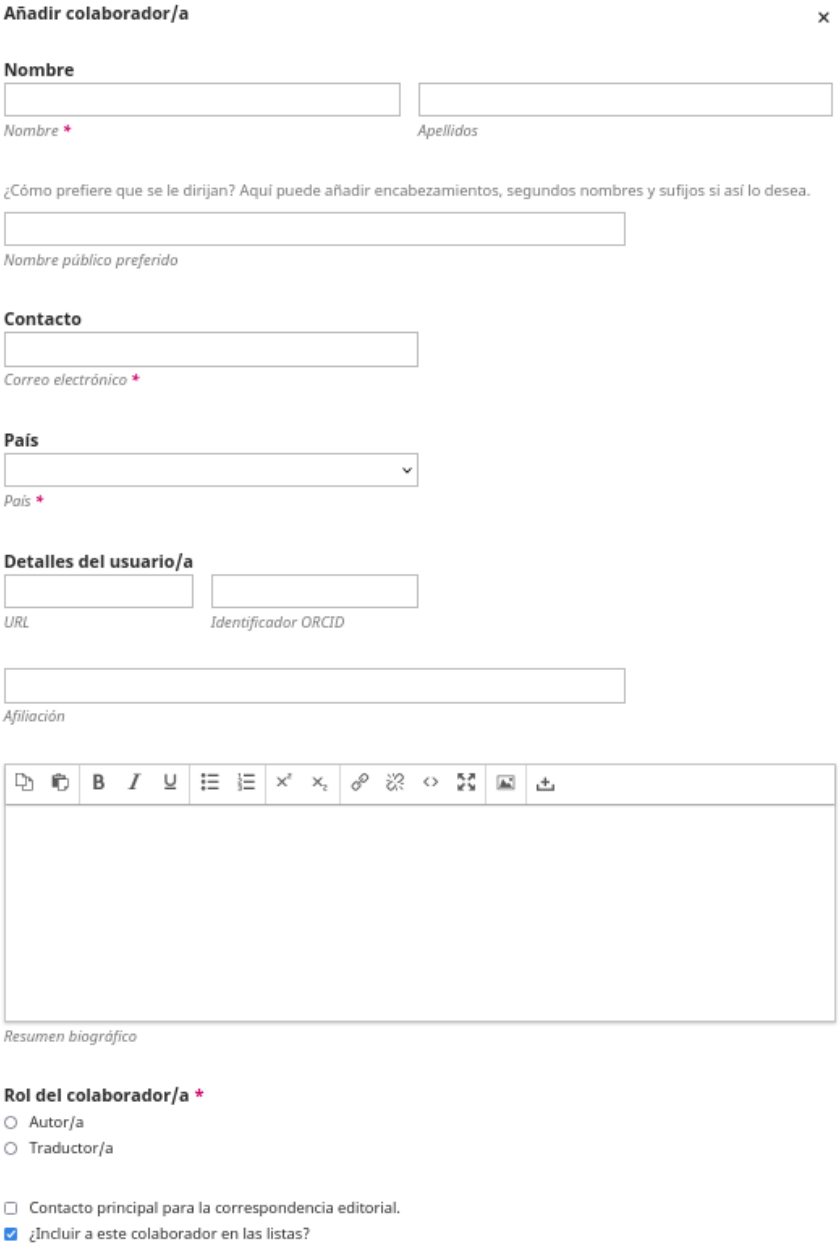


Para concluir con esta serie de comparativas, las Figuras 17 y 18 ilustran la transformación de un campo utilizado para capturar la afiliación institucional de un usuario o autor en distintos formularios del sistema. Originalmente, como se muestra en la Figura 17, dicho campo era de tipo texto libre, lo que daba lugar a inconsistencias al capturar la información. En la Figura 18, se presenta la versión modificada del campo, que ha sido reemplazado por un selector desplegable con una lista precargada de entidades y dependencias de la UNAM. Este cambio se refleja de manera uniforme en tres formularios clave: el de registro de un nuevo usuario, el de edición de perfil y el de registro de colaborador, contribuyendo a una captura más precisa, coherente y controlada de la afiliación institucional.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 55 - 64

Figura 17

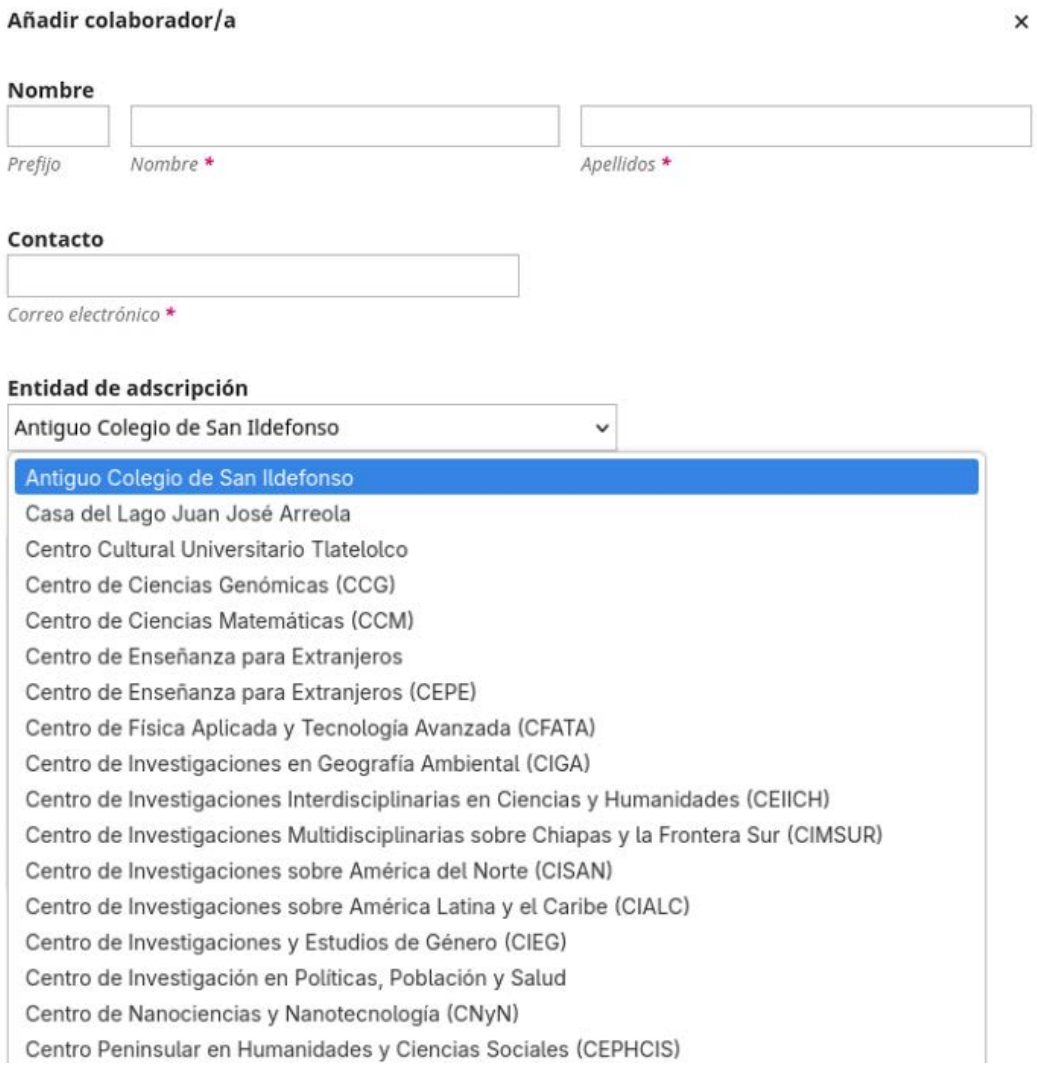
Formulario de registro de colaborador original



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 56 - 64

Figura 18

Formulario de registro de colaborador con el campo modificado

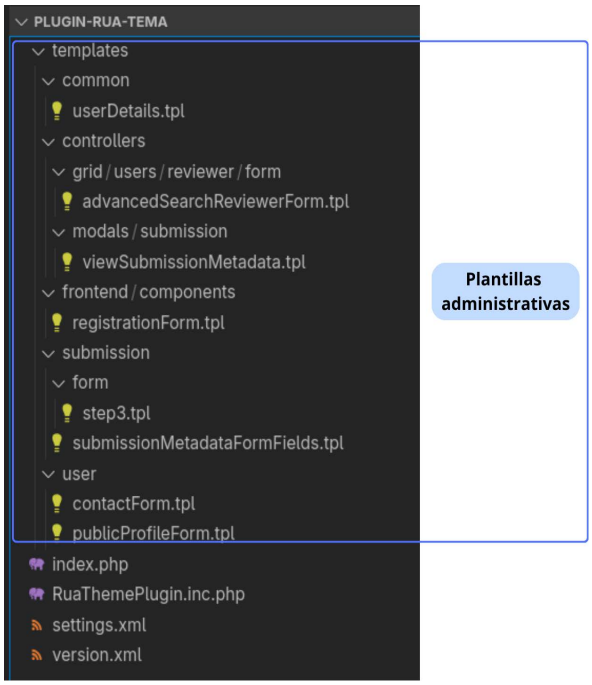


En la Figura 19, se muestra la estructura de archivos del *plugin* de tipo tema en donde se aprecian las plantillas administrativas que se sobreescriben mediante el *plugin*.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 57 - 64

Figura 19

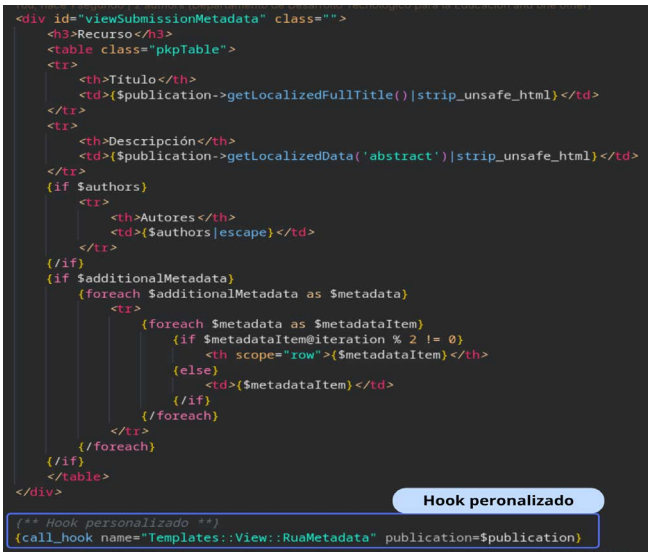
Estructura de archivos del plugin ruaTheme



En la Figura 20, se muestra el ejemplo de una plantilla adaptada para incluir un *Hook* personalizado.

Figura 20

Código de la plantilla adaptada (viewSubmissionMetadata.tpl)




```
<div id="viewSubmissionMetadata" class="">
    <h3>Recurso</h3>
    <table class="pkpTable">
    <tr>
        <th>Título</th>
        <td>{$publication->getLocalizedFullTitle()|strip_unsafe_html}</td>
    </tr>
    <tr>
        <th>Descripción</th>
        <td>{$publication->getLocalizedData('abstract')|strip_unsafe_html}</td>
    </tr>
    {if $authors}
        <tr>
            <th>Autores</th>
            <td>{$authors|escape}</td>
        </tr>
    {/if}
    {if $additionalMetadata}
        {foreach $additionalMetadata as $metadata}
            <tr>
                {foreach $metadata as $metadataItem}
                    {if $metadataItem@iteration % 2 != 0}
                        <th scope="row">{$metadataItem}</th>
                    {else}
                        <td>{$metadataItem}</td>
                    {/if}
                {/foreach}
            </tr>
        {/foreach}
    {/if}
    </table>
</div>

{** Hook personalizado **}
{call_hook name="Templates::View::RuaMetadata" publication=$publication}
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 58 - 64

En la Figura 21, se muestra el código fuente del *plugin* ruaTheme.

Figura 21

Código fuente del plugin ruaTheme

```php
<?php

import('lib.pkp.classes.plugins.ThemePlugin');

class RuaThemePlugin extends ThemePlugin {

    public function isActive() {
        if (defined('SESSION_DISABLE_INIT')) return true;
        return parent::isActive();
    }
    public function init() {
        $this->setParent('defaultthemeplugin');
    }

    function getDisplayName() {
        return 'RUA theme plugin';
    }

    function getDescription() {
        return 'Tema que aplica cambios específicos para la captura y
                despliegue de los metadatos para la RUA.';
    }
}
```

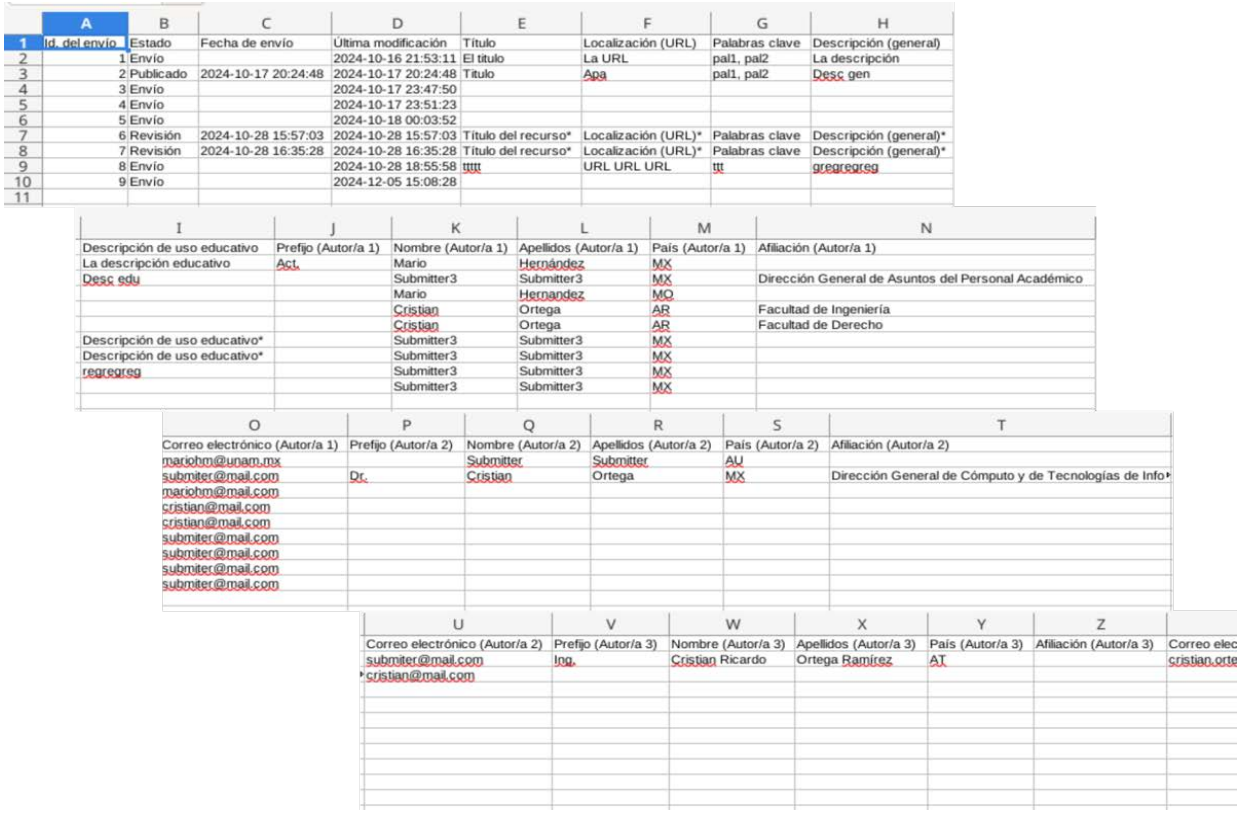
ANEXO D. EJEMPLO DE REPORTE GENERADO CON EL *PLUGIN* RUAREPORT

La Figura 22 muestra un ejemplo de un archivo en formato CSV generado a partir de la exportación de metadatos de los envíos registrados en OJS mediante el *plugin*. Cabe destacar que, además de los campos estándar, el archivo incluye los metadatos adicionales incorporados mediante el *plugin* ruaMetadata.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 59 - 64

Figura 22

Visualización del documento CSV con la información de los envíos



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Id. del envío	Estado	Fecha de envío	Última modificación	Título	Localización (URL)	Palabras clave	Descripción (general)
2	1	Envío		2024-10-16 21:53:11	El titulo	La URL	pal1, pal2	La descripción
3	2	Publicado	2024-10-17 20:24:48	2024-10-17 20:24:48	Titulo	Apa	pal1, pal2	Desc gen
4	3	Envío		2024-10-17 23:47:50				
5	4	Envío		2024-10-17 23:51:23				
6	5	Envío		2024-10-18 00:03:52				
7	6	Revisión	2024-10-28 15:57:03	2024-10-28 15:57:03	Título del recurso*	Localización (URL)*	Palabras clave	Descripción (general)*
8	7	Revisión	2024-10-28 16:35:28	2024-10-28 16:35:28	Título del recurso*	Localización (URL)*	Palabras clave	Descripción (general)*
9	8	Envío		2024-10-28 18:55:58	ttttt	URL URL URL	ttt	gregregreg
10	9	Envío		2024-12-05 15:08:28				
11								

	I	J	K	L	M	N
1	Descripción de uso educativo	Prefijo (Autor/a 1)	Nombre (Autor/a 1)	Apellidos (Autor/a 1)	País (Autor/a 1)	Afiliación (Autor/a 1)
2	La descripción educativo	Act.	Mario	Hernández	MX	
3	Desc edu		Submitter3	Submitter3	MX	Dirección General de Asuntos del Personal Académico
4			Mario	Hernandez	MO	
5			Cristian	Ortega	AR	Facultad de Ingeniería
6			Cristian	Ortega	AR	Facultad de Derecho
7	Descripción de uso educativo*		Submitter3	Submitter3	MX	
8	Descripción de uso educativo*		Submitter3	Submitter3	MX	
9	regregreg		Submitter3	Submitter3	MX	
10			Submitter3	Submitter3	MX	
11						

	O	P	Q	R	S	T
1	Correo electrónico (Autor/a 1)	Prefijo (Autor/a 2)	Nombre (Autor/a 2)	Apellidos (Autor/a 2)	País (Autor/a 2)	Afiliación (Autor/a 2)
2	mariohm@unam.mx		Submitter	Submitter	AU	
3	submiter@mail.com	Dr.	Cristian	Ortega	MX	Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Info
4	mariohm@mail.com					
5	cristian@mail.com					
6	cristian@mail.com					
7	submiter@mail.com					
8	submiter@mail.com					
9	submiter@mail.com					
10	submiter@mail.com					
11						

	U	V	W	X	Y	Z
1	Correo electrónico (Autor/a 2)	Prefijo (Autor/a 3)	Nombre (Autor/a 3)	Apellidos (Autor/a 3)	País (Autor/a 3)	Afiliación (Autor/a 3)
2	submiter@mail.com	Ing.	Cristian Ricardo	Ortega Ramírez	AT	
3	cristian@mail.com					

En la Figura 23, se muestran fragmentos del código fuente del *plugin* ruaReport.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 60 - 64

Figura 23

Fragmentos del código fuente del plugin ruaReport

```php
<?php

import('lib.pkp.classes.plugins.ReportPlugin');

class RUAReportPlugin extends ReportPlugin {

    function register($category, $path, $mainContextId = null) {
        $success = parent::register($category, $path, $mainContextId);
        $this->addLocaleData();
        return $success;
    }

    // ...

    function display($args, $request) {
        // ...
        while ($submission = $submissions->next()) {
            // ...
            // Recupera los metadatos del envío
            $results[] = [
                'submissionId' => $submission->getId(),
                'nivel_educativo' => self::NIVEL_EDUCATIVO[
                    $submission->getData('nivel_educativo')
                ],
                'categoria' => self::CATEGORIA[
                  $submission->getData('categoria')
                ],
                //... [recupera el resto de los metadatos] ...
            ];
        }

        $columns = [
            //Encabezados envío
            __('article.submissionId'),
            // ...
        ];

        $columns = array_merge($columns, [
            'Nivel educativo',
            'Categoría',
            // ... [agrega el resto de los encabezados de los metadatos] ...
        ]);

        // ...
        // Se convierten los resultados en filas CSV
        foreach ($results as $result) {
            $row = [];
            foreach ($result as $column => $value) switch ($column) {
                // ...
            }
            fputcsv($fp, $row);
        }

        fclose($fp);
    }
    // ...
}
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 61 - 64

ANEXO E. COMPARATIVAS DE PANTALLAS DE LOS DATOS EXPUESTOS MEDIANTE OAI-PMH CON EL *PLUGIN* RUAOAIDIM INSTALADO Y HABILITADO

Las Figuras 24 y 25 muestran la forma en que OJS expone los metadatos de los envíos mediante el protocolo OAI-PMH, utilizando dos formatos distintos. La Figura 24 presenta la estructura generada con el formato estándar Dublin Core (DC), el cual ofrece una representación básica y general de los metadatos. Por otra parte, la Figura 25 muestra la salida obtenida mediante el *plugin* ruaOAIDim, que permite la exposición de los metadatos en el formato DSpace Intermediate Metadata (DIM), el cual admite una mayor granularidad y organización de los elementos descriptivos.

Figura 24

OAI-PMH con el formato DC

OAI Record: oai:ojs2. <hostname> :article/2

OAI Record Header

OAI Identifier	oai:ojs2.: <hostname> :article/2 oai_dc formats
Datestamp	2025-03-05T19:30:17Z
setSpec	dgtic:ART Identifiers Records

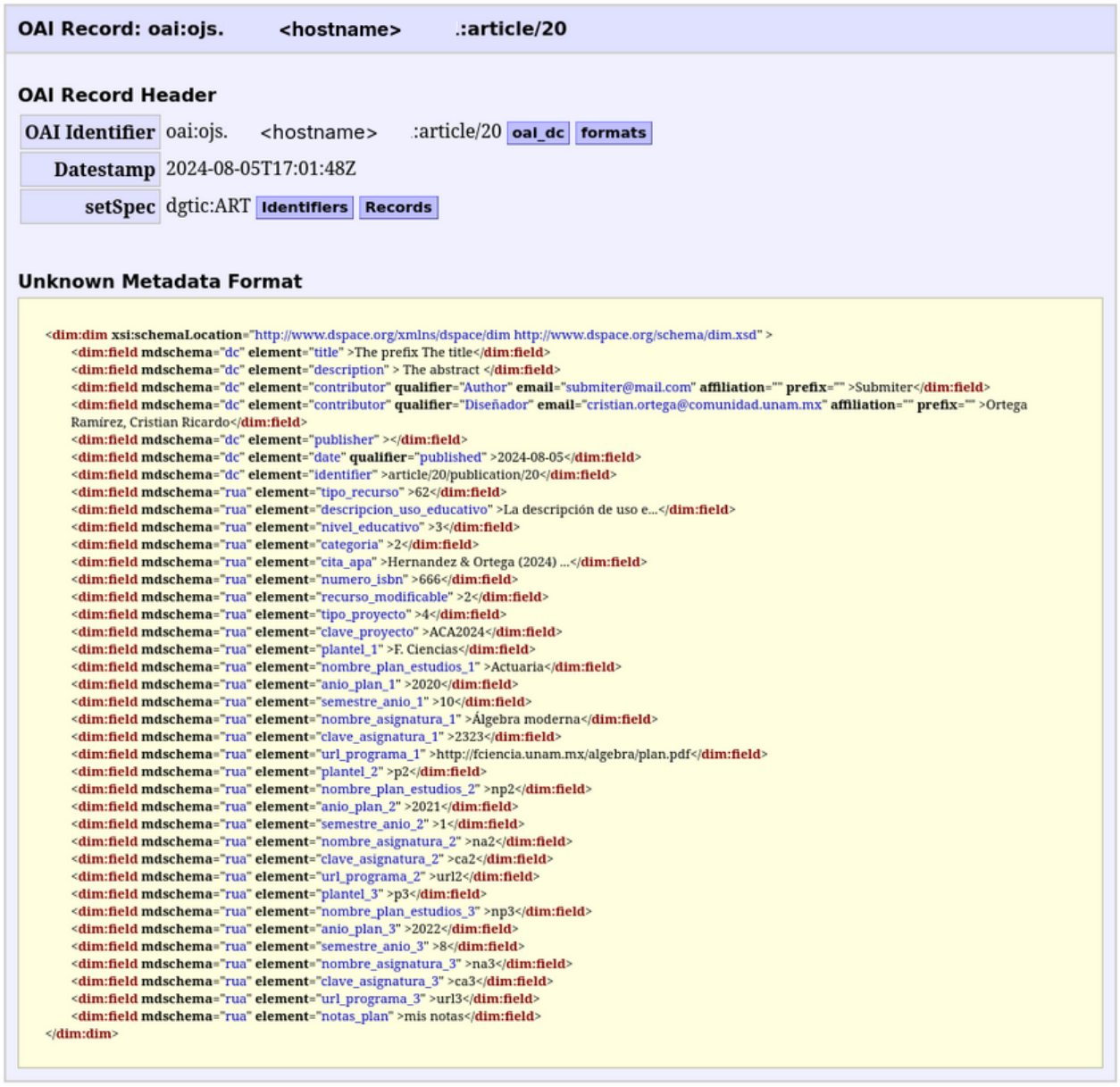
Dublin Core Metadata (oai_dc)

Title	Titulo
Author or Creator	Submitter3, Submitter3
Author or Creator	Ortega, Cristian
Subject and Keywords	pal1
Subject and Keywords	pal2
Description	Desc gen
Publisher	DGTIC
Date	2025-03-05
Resource Type	info:eu-repo/semantics/article
Resource Type	info:eu-repo/semantics/publishedVersion
Resource Type	Artículo revisado por pares
Resource Identifier	http:// <hostname> /index.php/dgtic/article/view/2
Source	DGTIC; Vol. 1 Núm. 1 (2024): RUA
Rights Management	Derechos de autor 2025 DGTIC

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 62 - 64

Figura 25

OAI-PMH con el formato DIM



OAI Record: oai:ojs. <hostname> .:article/20

OAI Record Header

OAI Identifier	oai:ojs. <hostname> :article/20 **oai_dc** **formats**
Datestamp	2024-08-05T17:01:48Z
setSpec	dgtic:ART **Identifiers** **Records**

Unknown Metadata Format

```
<dim:dim xsi:schemaLocation="http://www.dspace.org/xmlns/dspace/dim http://www.dspace.org/schema/dim.xsd" >
    <dim:field mdschema="dc" element="title" >The prefix The title</dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="description" > The abstract </dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="contributor" qualifier="Author" email="submiter@mail.com" affiliation="" prefix="" >Submiter</dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="contributor" qualifier="Diseñador" email="cristian.ortega@comunidad.unam.mx" affiliation="" prefix="" >Ortega
    Ramírez, Cristian Ricardo</dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="publisher" ></dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="date" qualifier="published" >2024-08-05</dim:field>
    <dim:field mdschema="dc" element="identifier" >article/20/publication/20</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="tipo_recurso" >62</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="descripcion_uso_educativo" >La descripción de uso e...</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nivel_educativo" >3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="categoria" >2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="cita_apa" >Hernandez & Ortega (2024) ...</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="numero_isbn" >666</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="recurso_modificable" >2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="tipo_proyecto" >4</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="clave_proyecto" >ACA2024</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="plantel_1" >F. Ciencias</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_plan_estudios_1" >Actuaria</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="anio_plan_1" >2020</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="semestre_anio_1" >10</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_asignatura_1" >Álgebra moderna</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="clave_asignatura_1" >2323</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="url_programa_1" >http://fciencia.unam.mx/algebra/plan.pdf</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="plantel_2" >p2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_plan_estudios_2" >np2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="anio_plan_2" >2021</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="semestre_anio_2" >1</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_asignatura_2" >na2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="clave_asignatura_2" >ca2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="url_programa_2" >url2</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="plantel_3" >p3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_plan_estudios_3" >np3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="anio_plan_3" >2022</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="semestre_anio_3" >8</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="nombre_asignatura_3" >na3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="clave_asignatura_3" >ca3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="url_programa_3" >url3</dim:field>
    <dim:field mdschema="rua" element="notas_plan" >mis notas</dim:field>
</dim:dim>
```

En la Figura 26, se muestran fragmentos del código fuente del *plugin* ruaOAIDim.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 63 - 64

Figura 26

Fragmentos del código fuente del plugin ruaOAIDim

```php
<?php
class DimMetadataFormat extends OAIMetadataFormat
{
    function __construct($prefix, $schema, $namespace)
    {
        parent::__construct($prefix, $schema, $namespace);
        PKPLocale::requireComponents([LOCALE_COMPONENT_PKP_SUBMISSION]);
    }

    function toXml($record, $format = null)
    {
        $article = $record->getData('article');
        $journal = $record->getData('journal');

        $templateMgr = TemplateManager::getManager();
        $templateMgr->assign(
            array(
                'journal' => $journal,
                'article' => $article,
                'issue' => $record->getData('issue'),
                'section' => $record->getData('section')
            )
        );

        // ...

        $ruaMetadata = [
            "nivel_educativo",
            "categoria",
            // ... [identificadores del resto de metadatos]
        ];

        $templateMgr->assign(
            array(
                // ... [metadatos de OJS]
                'abstract' => PKPString::html2text(
                  $article->getAbstract($article->getLocale())
                ),
                'ruaMetadata' => $ruaMetadata
            )
        );

        $plugin = PluginRegistry::getPlugin(
          'oaiMetadataFormats', 'DimMetadataFormatPlugin'
        );
        return $templateMgr->fetch(
          $plugin->getTemplateResource('record.tpl')
        );
    }
}
```

En la Figura 27, se muestran fragmentos de la plantilla que construye el xml en formato Dim.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.135 **Vol. 3,Núm. 4. octubre-diciembre** 2025, págs. 64 - 64

Figura 27

Fragmentos de la plantilla adaptada

```
<dim:dim xmlns:dim="http://www.dspace.org/xmlns/dspace/dim" xsi:schemaLocation="http://www.
dspace.org/xmlns/dspace/dim http://www.dspace.org/schema/dim.xsd">

{** ... metadatos de OJS ... **}
{if $article->getSource($journal->getPrimaryLocale()) }
    <dim:field mdschema="dc" element="source" >{$article->getSource
    ($journal->getPrimaryLocale())|escape}</dim:field>
{/if}
<dim:field mdschema="dc" element="identifier" >{$identifier|escape}</dim:field>

{** Metadatos RUA **}
{foreach from=$ruaMetadata item=metadata}
    {if $article->getData($metadata)}
        <dim:field mdschema="rua" element="{$metadata}" >{$article->getData($metadata)|
        escape}</dim:field>
    {/if}
{/foreach}

</dim:dim>
```

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144

Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 65 - 85

Análisis de demanda de ancho de banda en los servicios de internet de RedUNAM

Esteban Roberto Ramírez Fernández
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
esteban.ramirez@unam.mx
ORCID 0000-0002-2169-6233

Hugo Rivera Martínez
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
hugo.rivera@unam.mx
ORCID 0009-0007-1248-9412

Leonardo Isay Castañeda Ávila
Facultad de Estudios Superiores Aragón
Universidad Nacional Autónoma de México
leoicastavi@gmail.com
ORCID 0009-0001-9257-5383

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

Ramírez Fernández, E. R., Rivera Martínez, H. y Castañeda Ávila, L. I. (2025). Análisis de demanda de ancho de banda en los servicios de internet de RedUNAM. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (65 - 85). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144

Resumen

El crecimiento en la demanda en los servicios de red ha elevado su importancia ya que éstos soportan procesos clave de las organizaciones, lo que crea la necesidad de contar con una perspectiva futura fiable para la contratación y renovación de servicios de internet. Este escenario y el surgimiento de diferentes modelos para el estudio y pronóstico de datos que permiten el análisis del comportamiento futuro usando información con estructura de series de tiempo, ha favorecido la implementación de estrategias que entregan resultados

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 66 - 85

en un menor tiempo. Tomando como modelo la mejora continua de las buenas prácticas de servicios de tecnologías de información, en el Departamento de Monitoreo de la Red, conocido como NOC RedUNAM, se propuso analizar el comportamiento de los datos recolectados referentes al consumo de ancho de banda de los enlaces de internet que integran la RedUNAM, los cuales cuentan con las características de series de tiempo. Con el objetivo de obtener información fiable del consumo futuro esperado de los servicios de internet, se probaron diferentes algoritmos de análisis que consideran las condiciones que afectan a la demanda de los servicios en la Universidad Nacional Autónoma de México (horarios, eventos extraordinarios, periodos escolares, entre otros). Considerando esta necesidad, se seleccionó el que mejor aceptó la influencia de los cambios de comportamiento cotidiano en los enlaces de datos. En consecuencia, se enfocó el análisis en algoritmos que dieran mayor importancia a las variables consideradas relevantes para el pronóstico de demanda de los enlaces de red, así como el comportamiento general de la operación de ésta. Para este ejercicio, se probaron distintos modelos, incluyendo regresión simple, promedios móviles integrados y otras técnicas. Finalmente,se seleccionó el algoritmo que ofreció el mejor margen de confiabilidad, permitiendo considerar aceptable el pronóstico para las condiciones de los datos de red recolectados

Palabras clave:

Análisis de datos, proyección de demanda, modelo de demanda, datos históricos.

Abstract

The growing demand for network services has raised their importance because they support organizations key processes, which creates the need for a reliable future perspective for the contracting and renewing internet services. This scenario, and the emergence of different models for data study and forecasting that allow the analysis of future behavior using information with time series data, has favored the implementation of strategies that deliver results in less time. Following the model of continuous improvement and good practices in information technologies services, the Departamento de Monitoreo de la Red, known as NOC RedUNAM, proposed the analysis of behavior of the collected data regarding the bandwidth consumption of internet links that integrate RedUNAM, which exhibit time series characteristics. With the aim of obtaining reliable information about future expected internet service consumption, different analysis algorithms that consider the conditions that affect the demand of services in the Universidad Nacional Autónoma de México (schedules, extraordinary events, school periods, among others) were tested. Based on this need, the algorithm that best accepted the influence of changes in data links daily behavior was selected. Consequently, the analysis was focused on algorithms that gave major importance to the variables considered relevant for the demand of network links forecast, as well as the network operation general behavior. For this exercise, simple regression models, integrated moving averages and other techniques were tested, concluding with the selection of an algorithm that offered a margin of reliability, allowing the forecast to be considered acceptable for the conditions of the collected network data.

Keywords:

Data analysis, demand projection, demand model, historical data.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 67 - 85

1. INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo una gestión eficiente de servicios de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), es necesaria la mejora continua en la implementación, operación y actualización de los mismos. En el caso de los servicios de red, la mejora en la gestión de los enlaces requiere implementar una estrategia para dimensionar la capacidad futura del ancho de banda que tiene cada enlace de internet. Esto es fundamental, debido a que dichos enlaces se contratan a proveedores externos de forma multianual y un correcto dimensionamiento permite aprovechar de mejor manera los recursos económicos que la UNAM destina a estos servicios.

Con el objetivo de dimensionar esta capacidad necesaria en los enlaces de internet y planear su ampliación antes de que la capacidad sea superada por la demanda, se ha buscado pronosticar de forma efectiva la demanda a futuro de las conexiones a internet de la UNAM, considerando que el costo asociado a los servicios, cuando éstos tienen grandes periodos de inactividad, crea una percepción de estar sobredimensionados.

Es importante resaltar que actualmente los enlaces de internet contratados a diferentes proveedores de servicios por la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) requieren un análisis individual, ya que cada uno de los contratos tiene diferente temporalidad y periodos de contratación.

Actualmente, dicha decisión suele sustentarse en diversas variables, tales como el crecimiento de la matrícula escolar en las escuelas, la demanda de mayor ancho de banda de las aplicaciones, el uso incorporado de servicios inalámbricos de acceso a la red, servicios en la nube o el acceso a recursos multimedia; para esto, se analiza mediante la observación visual del comportamiento en el tiempo.

El análisis de las variables se puede complicar debido al impacto de múltiples factores exógenos como periodos escolares, demandas excepcionales de los servicios, entre otras causas.

Al buscar resolver la influencia de todas estas variables sobre los datos y con la intención de crear una proyección de demanda que emplee datos históricos, se realizó una evaluación de los mecanismos más utilizados que permitieran apoyar en el pronóstico de los datos. El objetivo del presente reporte técnico es generar la proyección de la demanda de ancho de banda en enlaces de internet por medio de modelos y análisis de los datos de consumo que sean de utilidad en futuros procesos de toma de decisiones.

2. METODOLOGÍA

2.1 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL SISTEMA CACTI

Para el desarrollo del análisis de los datos, se utiliza la información recolectada por el sistema de monitoreo Cacti, el cual emplea el protocolo SNMP (Protocolo simple de administración de red por sus siglas en inglés) de la siguiente forma:

1. El sistema de monitoreo realiza la recolección de los datos de utilización de ancho de banda consumido en cada ruteador y enlace de internet, el intervalo entre cada petición es de un minuto. La transmisión de datos desde el ruteador hacia el servidor que aloja el sistema Cacti se realiza

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 68 - 85

utilizando el SNMP.

2. El sistema de monitoreo trabaja con una base de datos de series de tiempo (guarda el valor y el momento que fue consultado) y se vincula a la gráfica a partir de una base de datos relacional (MariaDB), lo que permite su presentación vía web.
3. El tiempo de retención de los datos es diferente de acuerdo con la gráfica consultada. La base de datos que se usa es conocida como circular y tiene la bondad de que, una vez creada una gráfica, la base no seguirá creciendo, además de que promedia los datos en periodos de tiempo, los cuales son:
    - Monitoreo a 1 minuto con retención de 7 días
    - Monitoreo a 5 minutos con retención a 60 días
    - Monitoreo a 15 minutos con retención a 180 días
    - Monitoreo a 30 minutos con retención a 1 año

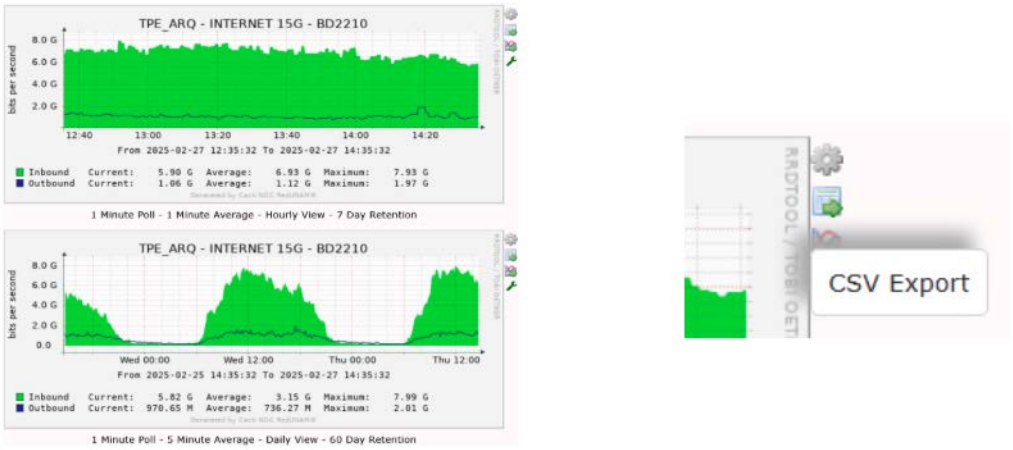
De esta forma, se obtiene una base de datos que no crece y puede administrarse dentro de un servidor con un disco duro de máximo 100 gigabytes, permitiendo conservar datos de hasta 1000 gráficas generadas.

Los datos de las gráficas se almacenan en archivos tipo RRD (*Roud Robin Database*). Posteriormente, esta información se utiliza para presentar las gráficas en el portal web del sistema de monitoreo Cacti.

Para la recuperación de estos datos, el sistema ofrece la posibilidad de exportar el conjunto de datos agrupados en formato CSV de forma gráfica por medio de un ícono en la parte superior derecha de cada gráfica, como se muestra en la Figura 1**.**

Figura 1

Gráfica de Cacti que muestra el ícono para exportar los valores



Adicionalmente, es posible obtener la información de cada una de las gráficas extrayendo el archivo individual de la base de datos desde el servidor vía el protocolo SSH (comunicación cifrada usando algoritmos ssl desde el servidor Cacti), que también permite exportar a formato separado por comas (CSV).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 69 - 85

Para el análisis, se obtuvo la información en formato CSV y se procedió a aplicar las técnicas de filtrado y aplicación de algoritmos para evaluar resultados y seleccionar el algoritmo más útil.

2.2 FILTRADO

Como siguiente paso para validar que los datos utilizados en los pronósticos de la demanda de tráfico están completos, se validó la información recuperada en formato CSV, comparándola con la base de las gráficas en formato "*round robin*" (archivos de las gráficas en el servidor).

Una vez realizada la validación, se procedió a la limpieza y filtrado de los datos para trabajar con información que represente el comportamiento de la demanda sin la influencia de datos considerados producto de incidentes o anomalías en la recolección.

2.2.1 FILTRADO EMPLEANDO PYTHON

La siguiente fase del filtrado fue retirar datos innecesarios para el análisis. A continuación, se muestra un extracto de los datos de la base de una gráfica. Los datos en rojo se eliminaron y sólo se trabajó con los datos en verde recuperados del mismo archivo.

Las siguientes 11 líneas son una muestra de datos en formato CSV de una gráfica en el sistema de monitoreo Cacti:

Title	PRUEBAS RIU 2024 - HACIA RED UNAM - Gi0/0	
Vertical Label	bits per second	
Start Date	11/12/2024 9:34	
End Date	11/12/2024 11:34	
Step	60	
TotalRows	121	
Graph ID	11754	
Host ID	694	
Date	**Inbound**	**Outbound**
11/12/2024 9:34	**523000000**	**120000**
11/12/2024 9:34	**N/A**	**N/A**
…		…

2.2.2 FILTRADO DE VALORES

Para el análisis de una serie de tiempo, es muy importante la relación entre el tiempo y el dato consultado. Como existe la posibilidad de tener un valor fuera de rango por múltiples causas o incluso valores nulos, registrados en la base con un "N/A", se requirió filtrar cualquier valor no numérico y, en el caso de valores fuera de rango, sólo considerarlos si éstos demuestran continuidad en el tiempo.

2.3 SELECCIÓN DE MODELOS

La selección de un modelo útil y eficiente para los recursos que se tienen en los servidores de monitoreo consideró, en principio, mecanismos de análisis en hojas de cálculo para identificar si, con las funciones existentes, podría generarse una tendencia útil con referencia a datos previos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 70 - 85

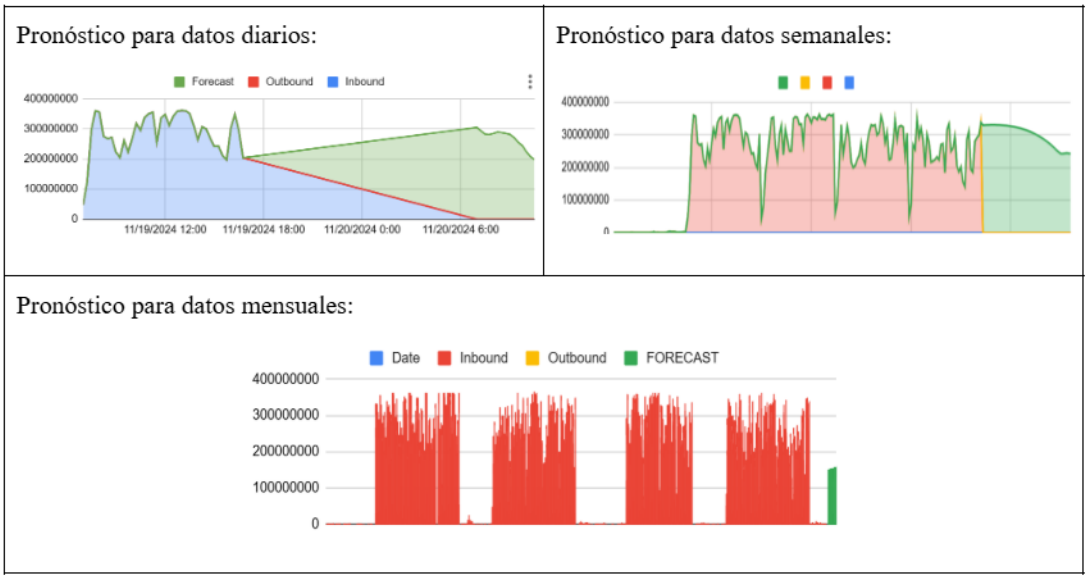
2.3.1 ANÁLISIS CON HOJAS DE CÁLCULO

Se realizó este análisis contemplando el filtrado antes mencionado y con el apoyo de las funciones existentes de hojas de cálculo, específicamente con la función "forecast", que se apoya de la regresión lineal desplazada en el tiempo para crear los datos futuros.

Los resultados del análisis inicial reflejaron un pronóstico con tendencias consistentes a la baja, como se refleja en la Figura 2.

Figura 2

Gráficas de pronóstico empleando datos íntegros de monitoreo (sin aplicar filtros)



En la Figura 2, se muestran tres gráficas donde se observa un área verde que presenta tiempos prolongados de baja o nula utilización, éstos afectan el pronóstico de valores futuros con tendencias bajas.

A partir del primer análisis, realizado mediante la función "forecast" de las hojas de cálculo para los enlaces de internet de la UNAM, se deduce que se requería considerar la demanda centrada en los periodos específicos (picos de utilización), como son horarios laborales y periodos escolares, porque, al no hacerlo así y utilizar largos periodos de tiempo, provocaba un pronóstico siempre a la baja y poco apegado a la realidad debido a que hay periodos grandes de baja utilización como son horarios nocturnos y de fin de semana.

Esta primera prueba mostró la necesidad de definir criterios de filtrado y/o prioridad para aplicar durante el análisis de datos, tanto previo como durante el cálculo de los pronósticos. De esta manera, se busca conformar una metodología que se adecúe al comportamiento de uso de ancho de banda de los enlaces de internet que la UNAM utiliza para comunicar a sus usuarios.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 71 - 85

2.3.1.1 PRONÓSTICO SUMANDO CRITERIOS DE FILTRADO

Se realizó un segundo pronóstico de valores aplicando filtros a partir de criterios de operación definidos por las condiciones conocidas de demanda (usando picos de utilización principalmente), generando pronósticos a través de una regresión lineal móvil.

Para elaborar el primer pronóstico, se trasladaron las condiciones de demanda conocidas (variables definidas con base en el comportamiento de la demanda como las estacionalidades y horarios consumo bajo) por medio de filtros a una hoja de cálculo, donde se consideró:

a) Valores por encima del 70% de su magnitud respecto a los máximos recuperados. Se definió con el propósito de centrar el cálculo de pronóstico en la demanda de tráfico que pudiera representar una saturación por consumo de ancho de banda.

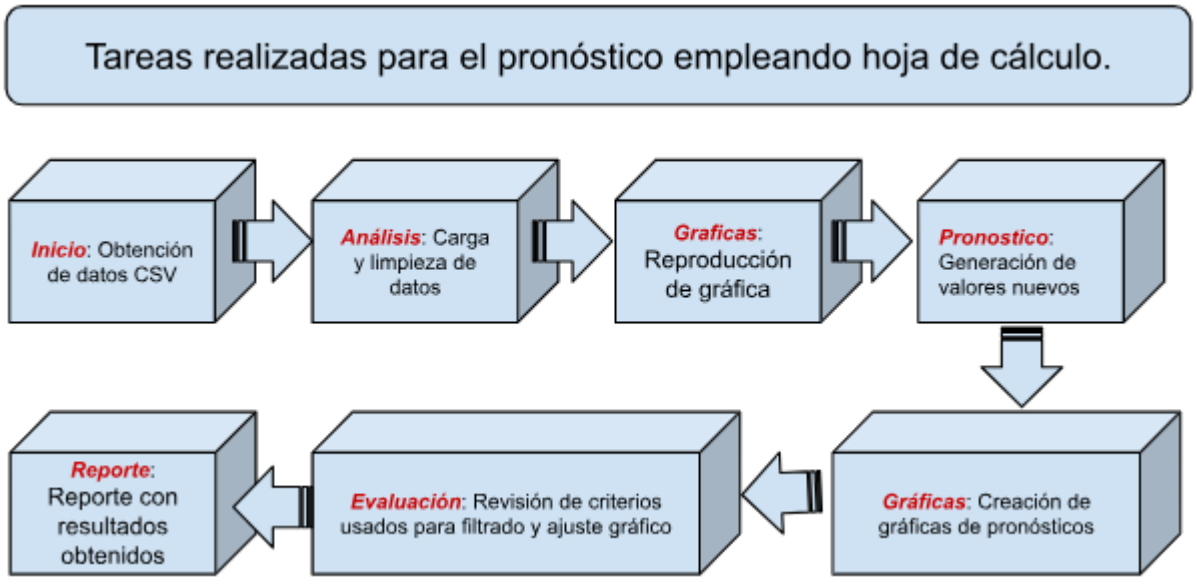
b) Eliminación de los datos registrados fuera de un horario laboral o actividad escolar. Esto permite eliminar posibles valores fuera de rango, propios de una consulta periódica o de ráfagas de consumo por funcionamiento anormal de las aplicaciones e incluso por transferencias de datos poco frecuentes.

c) Eliminación de periodos de descanso (fines de semana y nocturnos) y vacaciones. Éstos se eliminaron porque no se cuenta con demanda del servicio significativa o que sature el enlace.

En la Figura 3, se muestran las tareas realizadas para este análisis.

Figura 3

Lista de tareas realizadas



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 72 - 85

Con estas condicionantes, se obtuvo:

1. Disminución de la cantidad de información para alimentarla al pronóstico.
2. Eliminación de datos fuera de rango que pudieran causar un pronóstico erróneo.
3. Utilización únicamente de información considerada útil para generar los nuevos datos.

2.3.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIANTE HOJAS DE CÁLCULO

Para una inspección inicial, se descargaron los datos de día, semana, mes y año en formato CSV, el cual ofrece cada una de las gráficas mediante la plataforma de Cacti, empleando la función que tiene cada gráfica en la esquina superior derecha de las gráficas.

Las primeras evaluaciones se realizaron al usar la función FORECAST, incluida dentro de Google Sheets, que utiliza una regresión lineal simple; ésta obtuvo datos muy por debajo de los picos observados debido a que se usaron valores históricos sin filtrado para generar valores futuros que incluyen datos nulos y valores bajos derivados de largos periodos de baja utilización en días y horarios no hábiles para la universidad, tal y como se pudo observar previamente en la Figura 2.

Dado que la función FORECAST arrojaba reiteradamente valores pronósticos a la baja, se efectuó un ejercicio de análisis de las variables empíricas utilizadas durante la proyección de los servicios de forma visual, empleando únicamente los datos de las gráficas y la experiencia al hacer un análisis de proyección de demanda, cuyos resultados fueron la identificación de:

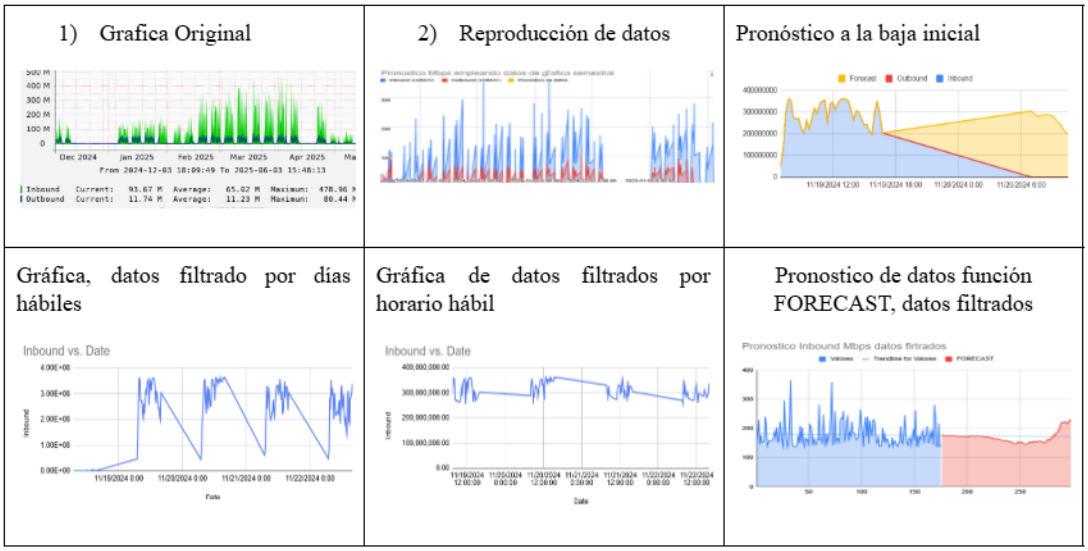
- Valores identificados importantes para determinar tenencia
    - Todos aquellos valores no nulos positivos de las gráficas de consumo de ancho de banda de descarga de datos.
- Picos de datos
    - Se calculó el promedio de la demanda máxima registrada en un rango del 70% al 95% de los datos en un periodo de tiempo identificado.
- Periodos de demanda
    - Se definió la relevancia de los datos de demanda constantes por más de una hora
- Horarios de demanda
    - Se definió un horario común de incremento de demanda (10 a 16 horas) de acuerdo a la experiencia.
- Días de demanda alta de tráfico
    - Se determinó que los días inhábiles, periodos vacacionales y horarios no laborales son de baja relevancia para identificar la demanda futura.
- Ignorar eventos atípicos de demanda en caso de haber
    - Se consideran esporádicos y se excluyen del análisis los valores que no alcanzan un periodo mayor a una hora.

En la Figura 4, también se puede observar como el pronóstico, una vez aplicado con los filtros, reflejaba el comportamiento de la máxima demanda, objetivo del análisis y pronóstico.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 73 - 85

Figura 4

Aplicación de criterios de filtrado



Las consideraciones antes mencionadas contemplaron que una alta demanda por periodos muy cortos no justifica una tendencia a incrementar la demanda de ancho de banda. Sin embargo, hay condiciones relevantes que escapan a este análisis y pueden ser consideradas y agregadas al pronóstico por medio de una variable adicional, si es considerada importante.

Debido al resultado de estos primeros análisis, se continuó con la búsqueda de algoritmos que permitieran un mejor manejo de los datos basados en series de tiempo. A raíz de esta búsqueda, se seleccionó Python como lenguaje donde se pudieran probar las bibliotecas y algoritmos de pronóstico.

2.3.2 PRONÓSTICO EMPLEANDO ALGORITMOS EN LENGUAJE PYTHON

Se seleccionó el lenguaje Python debido a su soporte, versatilidad de uso y la incorporación de bibliotecas que permitieron la ejecución de diversos modelos, siguiendo a Huang & Petukhina, (2022). Igualmente, fue clave la elección de modelos matemáticos que pudieran considerar la totalidad de elementos monitoreados, lo que derivó en una búsqueda, clasificación y evaluación de dichos modelos para su implementación por medio del lenguaje Python.

Para determinar el modelo más adecuado para las pruebas en Python, se revisaron aquellos con mayor popularidad, siguiendo lo sugerido por Fierro Torres, Castillo Pérez y Torres Saucedo (2022); esto permitió generar la lista contenida en las tablas 2 a 7.

En busca de un mejor mecanismo para el pronóstico de valores, se realizó la búsqueda de algoritmos de pronósticos disponibles en las bibliotecas de Python adecuados para un análisis con información de series de tiempo.

Se puede observar de la Tabla 1 a la 7 la evaluación de modelos para pronóstico:

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 74 - 85

Tabla 1

Código de colores de las tablas

Código de colores sobre modelos evaluados			
Modelo evaluado con posible aplicación	No es funcional para el problema	Modelo que no se recomienda aplicar	No es un modelo, sólo es apoyo para análisis

Tabla 2

Modelos tradicionales

Modelos de ARIMA	Utilización	Principales características
Simple Moving Average (SMA)	Promedios móviles de datos previos, para datos sin estacionalidad	Se utilizan pocas muestras del pasado para generar los valores futuros.
Exponential Smoothing (SES, Holt, Holt-Winters)	Promedio ponderado de datos (mayor peso a datos recientes).	Al revisar la documentación, se considera que no es aplicable porque no todos los datos tienen el mismo valor para el pronóstico.
Implementado en statsmodels, pmdarima	Se requiere establecer un parámetro de estacionalidad.	Este modelo no es utilizado porque se agrega complejidad al establecer múltiple estacionalidad.
Modelos ARIMA y Variantes (Autoregressive Integrated Moving Average)	Modelos autorregresivos que contemplan la relación de los datos pero no contemplan la estacionalidad.	No es elegido porque, de acuerdo a la documentación consultada, es más difícil considerar múltiple estacionalidad.
SARIMA (Seasonal ARIMA)	Modelos autorregresivos que contemplan la relación de los datos pero no contemplan la estacionalidad.	Este modelo no es utilizado por la complejidad de agregar variables adicionales a la estacionalidad.
SARIMAX (Seasonal ARIMA with Exogenous Variables)	Acepta variables exógenas (formadas en el exterior) y parámetros de estacionalidad.	El modelo es altamente preciso pero se vuelve complejo el análisis cuando se usan variables externas.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 75 - 85

Tabla 3

Modelos Espacio estado

Modelos de Regresión Espacio-Estado	Utilización	Principales características
State Space Models (SSM)	Empleado con Sarimax.	No utilizado porque no contempla múltiple estacionalidad.
Kalman Filters	Estima a partir de muestras con ruido.	Los parámetros modificables incluyen un valor de ruido que no se tiene.

Tabla 4

Modelos basados en descomposición

Modelos Basados en Descomposición	Utilización	Principales características
Prophet (desarrollado por Facebook, robusto para datos con estacionalidad)	Diseñado por Facebook para series de tiempo.	Elegido para pruebas porque maneja automáticamente tendencias, estacionalidades y permite la personalización del modelo.
TBATS (modelo flexible para datos con múltiple estacionalidad)	Acepta múltiples estacionalidades. Funciona bien con datos irregulares y de alta frecuencia.	Mayor uso de recursos principalmente consumo alto de CPU.

Tabla 5

Modelos basados en Árboles de decisión

Modelos de Árboles de Decisión y Ensambles	Utilización	Principales características
Gradient Boosting Machines (XGBoost, LightGBM, CatBoost)	Funcionan con paralelismo lo cual hace más eficiente.	Elegido para pruebas aunque más precisos en pronóstico, requieren mayor procesamiento y son menos personalizables.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 76 - 85

Tabla 6

Modelos basados en redes neuronales

Modelos Basados en Redes Neuronales	Utilización	Principales características
MLP (Multi-Layer Perceptron)	Simulando neuronas humanas.	Alta eficiencia pero demanda alto procesamiento.
LSTM (Long Short-Term Memory)	Pronósticos empleando memoria de datos.	Elegido para pruebas, consume más CPU en la ejecución de pronósticos.
GRU (Gated Recurrent Unit)	Simulando neuronas humanas.	Elegido para pruebas, consumo alto de CPU.

Tabla 7

Modelos híbridos

Modelos Híbridos y de AutoML	Utilización	Hallazgo
AutoTS (AutoML para series de tiempo)	Sirve para seleccionar otros modelos como LTSM y XGBOOST.	Sólo sirve como librería para armar otros modelos.
Darts (interfaz unificada para múltiples modelos)	Agrupa el uso de diferentes modelos como LTSM.	Sólo sirve como librería para llamar a otros modelos.
tsfresh (extracción automática de características para ML)	Extracción de características en series de tiempo.	No diseñado para pronóstico.
tslearn (métodos de series de tiempo en aprendizaje profundo)	Clasificación.	Más útil para segmentación y clasificación.

A partir del análisis de las tablas mostradas, se seleccionaron los modelos aplicables para pruebas con el propósito de elegir el de mejor desempeño en cuanto a demanda de recursos de procesamiento y memoria. Esto tuvo la finalidad de insertarlo en un ambiente de producción como función para crear el pronóstico en tiempo real de una gráfica:

Redes neuronales:

- XGBoost
- LSTM
- MLP
- GRU

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 77 - 85

Autorregresivo aditivo:

- Prophet

2.4 EVALUACIÓN

Esta sección se centra en los modelos de pronóstico implementados en el lenguaje Python, debido a que los pronósticos basados en hojas de cálculo no requieren una validación, ya que los datos futuros sólo son el reflejo del promedio de una muestra de datos previos, generando una tendencia lineal.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS DE ALGORITMOS EMPLEANDO EL LENGUAJE PYTHON

En el análisis de modelos, se usaron todos los datos recolectados empleando ajustes de hiperparámetros para considerar las diferentes estacionalidades del consumo de ancho de banda (periodos en que se repite un comportamiento gráfico), lo que ayudó a tener resultados de pronóstico más fieles a los datos originales.

Los principales parámetros modificados para el análisis se describen en la siguiente lista. Se agregan los valores donde se obtuvo un pronóstico con un rango de confiabilidad aceptable (alrededor del 30%):

- Series de Fourier: 12
- Periodos de estacionalidad: día, semana, mes y cuatrimestre
- Énfasis en valores altos: se emplea transformación cuadrática
- Cantidad de períodos pronosticados: 69 días
- Ajustar variación máxima en el periodo de pronóstico: 30%

Las pruebas de código se realizaron con las aplicaciones Pycharm y Anaconda como entornos de desarrollo (IDE) del código probado.

Se emplearon para ello las bibliotecas:

- Pandas
- Matplotlib
- Prophet
- os
- sys
- Time
- Tensorflow, MinMaxscaler, Sequential, LTSM, Dense
- Numpy

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 78 - 85

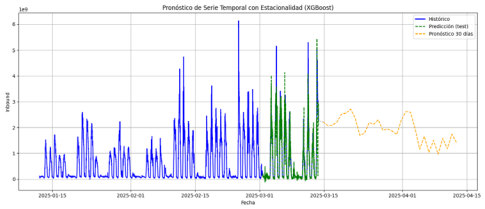
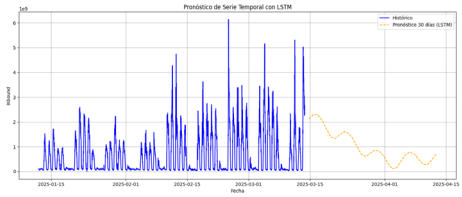
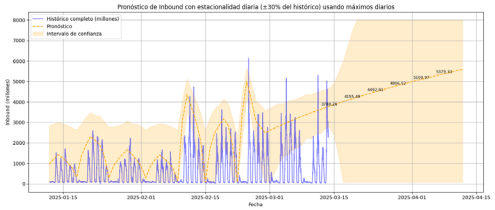
- Xgboost, XGBRegresor
- Sklearn

La comparación gráfica de las respuestas de los algoritmos ayudó a la elección, considerando la tendencia parecida al comportamiento de los datos reproducidos en las gráficas y la facilidad de modificación de los parámetros en la generación de datos pronosticados.

En la Tabla 8, se muestran ejemplos de las salidas obtenidas a partir de la aplicación de los modelos de pronóstico que ayudó a la elección del modelo final.

Tabla 8

Ejemplo de gráficas obtenidas con los modelos probado

Nombre de algoritmo	Gráfica	Observaciones
XGBOOST		El modelo presentó problemas para ajustarse al comportamiento de los datos históricos ya que éstos tienen múltiple estacionalidad y comportamientos irregulares.
LTSM		El modelo consume muchos recursos durante el procesamiento y los datos pronosticados siempre fueron hacia la baja.
PROPHET		El modelo se ejecutó en un tiempo mucho menor y da la posibilidad de modificar con apoyo de variables internas la estacionalidad de los datos y da un margen de confiabilidad.

2.4.2 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN

Como resultado de las pruebas realizada,s se considera que el algoritmo Prophet ofrece la mejor respuesta a las necesidades del análisis debido a que:

- Es el algoritmo que mejor considera el comportamiento estacional de los datos debido a que ha sido empleado para analizar fenómenos económicos que tienen un comportamiento similar.
- Ofrece facilidad en el uso de variables aplicables a los datos para buscar que el pronóstico se adecúe al comportamiento histórico de la información.
- El consumo de recursos para cada pronóstico es menor que el de los demás algoritmos.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 79 - 85

- Se cuenta con un respaldo amplio de la comunidad en el uso del algoritmo.
- Al facilitar el uso de hiperparámetros en Python, se pueden hacer ajustes de forma rápida.

2.5 VALIDACIÓN

Para la validación de los resultados, se considera la mayor cantidad de variables internas; sin embargo, éstas se aplican a fenómenos de comportamiento no lineal, lo que puede generar errores significativos debido a los ajustes en los hiperparámetros del algoritmo o a la influencia de variables exógenas que provoquen la generación de datos esperados incorrectos, como lo concluye Pooja Anand y Mayank Sharma (2024).

Sin embargo, con un correcto ajuste de los hiperparámetros y la vigilancia del comportamiento de los mecanismos de validación integrados, que permiten verificar si los pronósticos de los datos ofrecidos son aceptables, es valiosa la información entregada. La evaluación realizada para los algoritmos probados se describe a continuación.

Los resultados detallados del rendimiento de los algoritmos son mostrados en la Tabla 9, donde:

- MSE = Error Cuadrático Medio
- RMSE = Raíz del Error Cuadrático Medio
- MAE = Error Absoluto Medio
- R2= Coeficiente de determinación (qué tanto el modelo se ajusta a los datos originales)
- MAPE = Error Porcentual Absoluto Medio

Tabla 9

Comparación de rendimiento de modelos

Modelo	MSE	RMSE	MAE	R2	MAPE
XGBoost	1.149e+17	3.389e+08	1.628e+08	0.906	0.458
CNN-LSTM	3.974e+17	6.304e+08	3.431e+08	0.673	0.627
LTSM simple	4.576e+16	2.139e+08	1.064e+08	0.963	0.241
Prophet base	5.883e+17	7.670e+08	6.107e+08	0.517	4.483
Prophet ME	3.272e+18	1.809e+09	1.212e+09	0.025	0.525

La Tabla 9 refleja que el modelo mejor evaluado es LTSM simple debido a la respuesta ante errores y a su capacidad de conservar un valor a corto y mediano plazo, lo cual puede permitir que, en un conjunto de datos con múltiples estacionalidades, este comportamiento puedatomarse en cuenta para el pronóstico a mediano plazo.

Es importante destacar que el ajuste en los parámetros operativos, durante la aplicación de un modelo derivado de la observación del desempeño, es de gran importancia, tal y como señalan Niamjoy, P. & Phumchusri, N. (2020).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 80 - 85

Durante la evaluación del modelo XGBoost, se encontró que presenta problemas para adaptarse a cambios bajos de estacionalidad cuando ya ha considerado un comportamiento previo, lo que es congruente con los resultados de Xu, Zheng, Zhu, Wong, Wang y Lin (2024).

Un aspecto importante que apoya la elección de uno u otro modelo es la sensibilidad al comportamiento de los mismos, al sobreajuste que provoca generación de valores alejados de los esperados y para lo cual deben estar en constante vigilancia. Es el caso de LTSM, tal y como comentan Xue, Deng y Wang (2024).

En contraste con lo anterior, se identifican análisis como el de Zheng, Liu, Jiang, Tang y Xiang (2022), donde los valores de rendimiento para series de tiempo del modelo Prophet han presentado mejoría en comparación con LTSM.

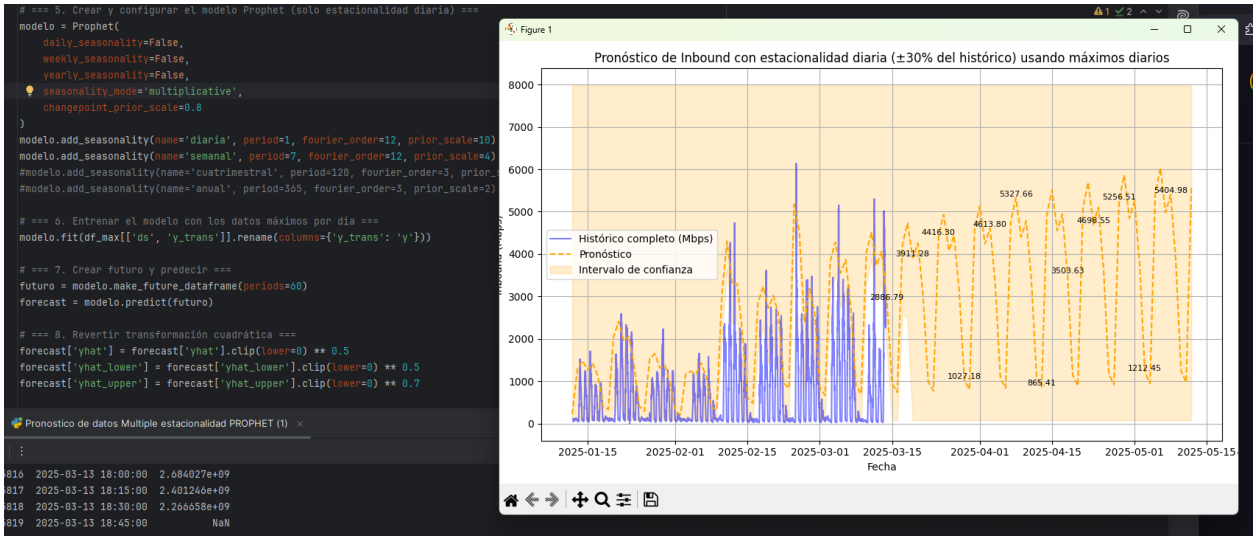
Con la información obtenida y debido a que los conjuntos de datos se adaptan de mejor manera al modelo Prophet, se determinó seleccionar este algoritmo para una implementación en la que, además, pueda realizarse una ejecución al interior del propio sistema de graficación con el apoyo del lenguaje Python.

Una vez hecha la evaluación de los modelos, se creó un programa desarrollado en Python con el fin de generar un código útil para la implementación en el sistema de gráficas Cacti.

Producto del desarrollo del *script*, se logró el pronóstico de la forma más acertada con el modelo de Prophet, mostrado en la Figura 5.

Figura 5

Resultado de ejecución del modelo de pronóstico en Python



Observaciones

- Se considera que los resultados pueden utilizarse para identificar la demanda futura, aún así, puesto que no se incluyen variables como mantenimientos y fallas en los servicios o periodos de saturación por fallas fuera de la demanda de los usuarios, no se recomienda usar únicamente el resultado del pronóstico para determinar un cambio en el ancho de banda contratado.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 81 - 85

- El algoritmo Prophet funciona ajustando con un rango de confiabilidad alto (la posibilidad de que el pronóstico sea inexacto es alta), por lo que, para un pronóstico preciso, deben configurarse las variables que no están plasmadas en el histórico de datos y que reflejan un comportamiento de tendencia, como estacionalidad o bajas esperadas de demanda, entre otras. Cuando se aplica Prophet a rangos pequeños de datos, el pronóstico muestra una tendencia que no es precisa, esto derivado de que su funcionamiento se apoya de los cambios de tendencias (que son cíclicos). Para conjuntos de datos con estacionalidad (cambios periódicos) en un periodo corto de tiempo, como ejemplo en periodos vacacionales, si sólo se usa este periodo, generará un resultado poco confiable. Los datos históricos recuperados en un periodo anual se promedian a 30 minutos de acuerdo a la base de datos circular de RRA en Cacti, por lo que el mayor rango de datos con un intervalo de 15 minutos entre ellos es el de un semestre, así que éste es el rango que se considera para los pronósticos de ancho de banda.

3. IMPLEMENTACIÓN OPERATIVA

Con el objetivo de dar utilidad operativa al análisis (que se pueda emplear el pronóstico por todos los usuarios del sistema de gráficas Cacti), se adaptó el ícono para exportar datos del sistema Cacti, diseñado para exportarlos y para que éste también ejecute al interior del servidor el *script* con el algoritmo Prophet, generando los datos pronosticados en ese momento de esta manera, se obtiene un pronóstico de demanda futura para la gráfica que se encuentra en visualización.

Para lograr este objetivo, se realizaron las siguientes tareas:

1. Implementación de bibliotecas en Python necesarias para la ejecución del pronóstico dentro del propio servidor Debian que aloja la aplicación de Cacti.
2. Implementación de *script* en PHP con el objetivo de ejecutar el código del análisis y generar la imagen interna para guardarla en el servidor.
3. Modificar la funcionalidad web de la función para exportar los datos que mostrará la gráfica de pronóstico en la sesión web del usuario.

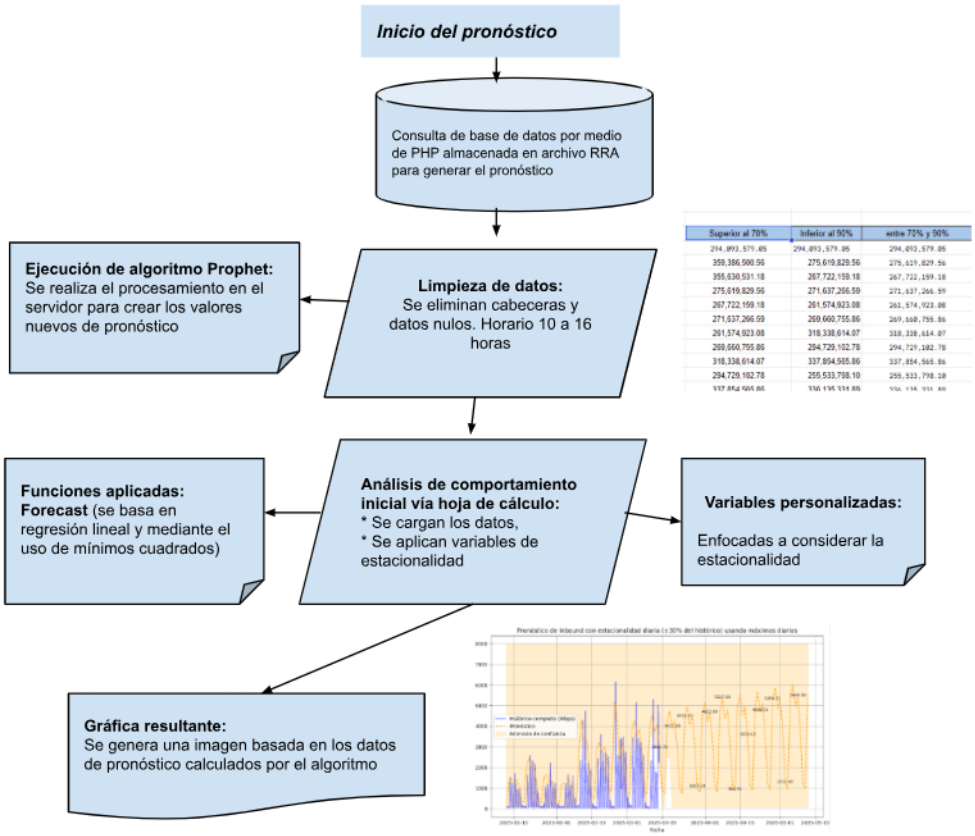
La implementación de esta funcionalidad no está abierta a todos los usuarios debido a que, al momento de escribir el presente documento, se continúa con las pruebas sobre la aplicabilidad a todas las gráficas dentro del sistema de monitoreo.

La Figura 6 muestra el proceso aplicado dentro del sistema Cacti para la obtención del pronóstico en tiempo real de la información generada hasta el momento de ejecución de la función de pronóstico.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 82 - 85

Figura 6

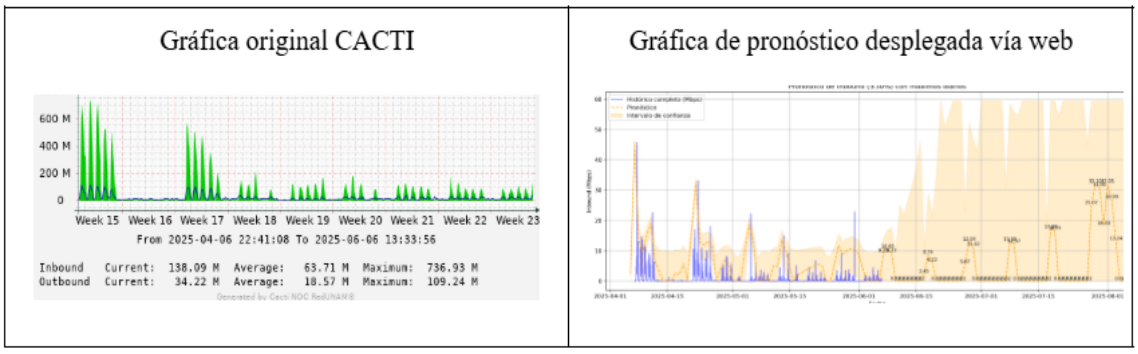
Proceso de generación de pronóstico en sistema Cacti



Para mostrar la diferencia en la Figura 6, se muestra la imagen generada por el sistema Cacti y la desplegada al ejecutar el pronóstico.

Figura 7

Pronóstico desplegado desde sitio web



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 83 - 85

Tareas pendientes:

1. El pronóstico se genera con valores predefinidos, por tanto, sería útil ofrecer al usuario un formulario para modificar los parámetros previo a su generación.
2. Mejorar el tiempo de espera asociado a la tarea de generación de pronósticos ejecutada por el servidor.

4. SIGUIENTES PASOS

Se sugiere evaluar la creación de un proyecto de generación para un *plugin* que pueda liberarse de forma oficial dentro del proyecto de Github del sistema de monitoreo Cacti, ya que, por el momento, lo que se ha hecho es modificar un *plugin* existente para insertar la función de pronóstico en el sistema.

- Evaluar la posibilidad de generar un reporte que sea realizado en segundo plano para no esperar la generación del pronóstico por parte del usuario de la herramienta Cacti.
- Ajustar los valores de los hiperparámetros a las necesidades de los usuarios del sistema Cacti.
- Evaluar la implementación de diferentes modelos para las gráficas de internet de la UNAM fuera del bachillerato para verificar su funcionalidad en todos los escenarios de demanda sobre los enlaces de la red de datos de la UNAM.
- Mejorar el tiempo de espera asociado a la tarea de generación de pronósticos ejecutada por el servidor.
- El pronóstico genera valores predefinidos, por tanto sería útil ofrecer al usuario un formulario para modificar los parámetros previo a la generación del pronóstico.

5. CONCLUSIONES

A lo largo del análisis de los datos obtenidos de las gráficas de consumo, se observó la importancia de reflejar las condiciones externas a los datos por medio del ajuste de hiperparámetros, de modo que el análisis se centre en los comportamientos de interés. En este caso, se analiza la demanda futura y configuración de parámetros para que el algoritmo dé importancia a los cambios cíclicos en día, semana y cuatrimestre. Esta personalización es clave para aplicar un modelo adecuadamente. Durante el análisis de comportamiento, también se identificó la necesidad de generar modelos diferentes para distintos tipos de demanda en los enlaces, como facultades y oficinas administrativas. La elección del algoritmo de Prophet ha permitido generar múltiples pruebas al adaptarse de mejor manera a estos cambios para realizar la mejor aproximación futura de los diferentes enlaces de internet, debido a que se adapta mejor en series temporales con patrones de datos irregulares, tal y como se muestra en otros estudios como el de Asirim, Aşirim y Salepçioğlu (2024), en donde también se concluye que la fortaleza de Prophet radica en la existencia de un calendario periódico de pruebas con patrones estacionales en los valores analizados. Además, es adecuada su elección para este estudio debido a la múltiple estacionalidad que presenta la demanda de los enlaces de internet.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 84 - 85

Es importante reconocer las limitaciones del enfoque actual. El modelo depende de la calidad y granularidad de los datos históricos. El promedio de datos en periodos largos, una característica del sistema de almacenamiento de Cacti, puede enmascarar picos de tráfico de corta duración que son críticos. Asimismo, su capacidad predictiva se ve comprometida ante cambios estructurales abruptos en el comportamiento de la red (como la adopción masiva de una nueva tecnología de *streaming* para propósitos académicos) que no están reflejados en el histórico.

Se considera que la aplicación, por medio de series de tiempo, es indispensable en la generación de pronósticos para otros tipos de datos basados en series temporales, al poder determinar su ocurrencia y la relación con otros eventos registrados.

Este esfuerzo abre la puerta a diversas líneas de trabajo para ampliar y fortalecer significativamente sus capacidades. Se podría enriquecer el modelo incorporando variables exógenas como el número de dispositivos activos concurrentes en la red inalámbrica, métricas agregadas del tráfico de aplicaciones específicas o el número de docentes que incorporan plataformas de aprendizaje digital y recursos multimedia en sus cátedras, lo que permitiría correlacionar la demanda de ancho de banda con su origen. Adicionalmente, se podría explorar la implementación de modelos híbridos (ej., Prophet-LSTM) para mejorar la precisión a corto plazo y replicar esta metodología para pronosticar la demanda en otros dominios críticos como la ocupación de la red inalámbrica o la carga de los servidores de aplicaciones institucionales.

REFERENCIAS

Anand, P., Sharma, M., & Saroliya, A. (2024). "A Comparative Analysis of Artificial Neural Networks in Time Series Forecasting Using Arima Vs Prophet", *International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering (IC3SE)*, Department of computer Science Engineering, Mody University of Science and Technology, Sikar, Rajasthan. https://ieeexplore-ieee-org.pbidi.unam.mx:2443/document/10593482

Asirim, Ö. E., Aşirim, A., & Salepçioğlu, M. A. (2024). Performance of Prophet in stock-price forecasting: Comparison with ARIMA and MLP networks. *2024 Sixth International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)* (pp. 1–7). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICDS62089.2024.10756299

Fierro Torres, C. A., Castillo Pérez, V. H., & Torres Saucedo, C. I. (2022). Análisis comparativo de modelos tradicionales y modernos para pronóstico de la demanda: enfoques y características. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo, 12*(24). https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1203

Huang, C., & Petukhina, A. (2022). *Applied time series analysis and forecasting with Python*. Springer. https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007/978-3-031-13584-2

Niamjoy, P., & Phumchusri, N. (2020). Forecasting inbound tour daily demand with multi seasonality pattern: A case study of a tour operator in Thailand. *Proceedings of the 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 1044–1048). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIEA49774.2020.9101918

Xu, Y., Zheng, S., Zhu, Q., Wong, K.-C., Wang, X., & Lin, Q. (2024). A complementary fused method using GRU and XGBoost models for long-term solar energy hourly forecasting. *Expert Systems with*

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.144 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 85 - 85

Applications, 254, 124286. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124286

Xue, X., Deng, S., & Wang, Y. (2024). Optimization design of predictive response based on time series forecast model LSTM in broadband high current feedback regulation. 2024 *Asia-Pacific Conference on Software Engineering, Social Network Analysis and Intelligent Computing (SSAIC)* (pp. 237–241). IEEE. https://doi.org/10.1109/SSAIC61213.2024.00051

Zheng, Y., Liu, Y., Jiang, Z., Tang, Q., & Xiang, Y. (2022). Wind power forecasting based on Prophet model. En *2022 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia)* (pp. 1544–1548). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICPSAsia55496.2022.9949918

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 86 - 94

Implementación asistida por inteligencia artificial generativa de un certificado digital en un servidor web institucional restringido

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

Olguín Hernández, M.E. (2025). Implementación asistida por inteligencia artificial generativa de un certificado digital en un servidor web institucional restringido. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (86 - 94). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143

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

Resumen

Durante el periodo reciente, se abordó la instalación de un certificado digital en un servidor web institucional que operaba en un entorno con acceso restringido. La actividad se desarrolló sin asistencia directa de personal especializado en seguridad informática. Se seleccionó un método compatible con distribuciones basadas en Unix que no requieren permisos de administrador, lo que permitió cumplir con los requerimientos técnicos mediante herramientas automatizadas. A lo largo del proceso, se consultaron recursos tecnológicos accesibles que facilitaron la interpretación de instrucciones, la solución de errores frecuentes y la verificación de resultados. Esta experiencia puso en evidencia la posibilidad de ejecutar procedimientos complejos mediante recursos digitales guiados, sin comprometer la integridad del entorno. Los hallazgos obtenidos contribuyeron al fortalecimiento de las competencias técnicas del personal técnico académico en materia de protección de servicios web institucionales. Permitieron adquirir experiencia práctica en la generación de certificados digitales sin privilegios de administrador, comprender métodos de validación de dominios como webroot frente a restricciones operativas y aprovechar herramientas automatizadas como acme.sh para gestionar certificados en entornos limitados. Además, se logró sistematizar un procedimiento replicable que puede ser de utilidad para otras entidades universitarias con recursos limitados o sin personal especializado en seguridad web.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 87 - 94

Palabras clave:

Entornos UNIX, seguridad web, ciberseguridad, modelos generativos.

Abstract

During the recent period, the installation of a digital certificate on an institutional web server operating in a restricted-access environment was addressed. The activity was carried out without the direct assistance of specialized computer security personnel. A method compatible with Unix-based distributions that does not require administrator privileges was selected, allowing technical requirements to be met using automated tools. Throughout the process, accessible technological resources were consulted, which facilitated the interpretation of instructions, the resolution of common errors and the verification of results. This experience demonstrated the possibility of executing complex procedures using guided digital resources without compromising the integrity of the environment. The findings contributed to strengthening the technical competencies of academic technical staff in the protection of institutional web services. They provided practical experience in generating digital certificates without administrator privileges, understanding domain validation methods such as webroot in the face of operational restrictions and leveraging automated tools such as acme.sh to manage certificates in limited environments. In addition, a replicable procedure was systematized, which could be useful for other university entities with limited resources or without specialized web security personnel.

Keywords:

UNIX environments, web security, cybersecurity, generative models.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito universitario, la seguridad de los sitios web institucionales es fundamental para preservar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información. La adopción de certificados digitales se ha consolidado como una estrategia clave, respaldada por estudios que destacan la necesidad de mecanismos criptográficos robustos ante el aumento de ataques a instituciones públicas (Stallings, 2022; Anderson, 2020).

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), diversas dependencias operan entornos digitales en servidores virtuales sin privilegios de administrador, lo que limita la ejecución de acciones técnicas avanzadas. Esta condición, sumada al acompañamiento limitado de expertos en ciberseguridad o la falta de personal especializado en esta área, dificulta el cumplimiento de estándares de protección web y limita la ejecución autónoma de procesos técnicos críticos, como la instalación de parches de seguridad, la gestión directa de certificados digitales o la configuración de *firewalls* a nivel de sistema. Estas limitaciones pueden aumentar el riesgo de vulnerabilidades explotables si no se cuenta con mecanismos alternativos (Anderson, 2020; Kumar & Sharma, 2018).

Durante el mes de mayo de 2025, se enfrentó la necesidad de implementar un certificado SSL en un entorno operativo restringido, bajo un esquema sin permisos de superusuario, para un sitio institucional universitario adscrito a una Red Internacional de Investigación, alojado en un servidor con dominio *.unam.mx*. Esta situación reflejó una problemática frecuente: ¿cómo garantizar la seguridad web institucional en entornos con acceso técnico restringido y limitada capacidad operativa en materia de ciberseguridad?

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 88 - 94

Ante este escenario, se optó por herramientas accesibles y procedimientos replicables, apoyados por inteligencia artificial generativa (IA), lo que permitió obtener una alternativa de solución viable y segura. Su uso facilitó la comprensión de instrucciones, la gestión de errores comunes y la conclusión exitosa del proceso técnico, incluso en ausencia de acompañamiento especializado.

El objetivo de la intervención técnica, presentada en este reporte, es construir e implementar un certificado digital válido en un servidor institucional operado sin privilegios de administrador, mediante una guía detallada y replicable para sistemas basados en GNU Linux, apoyada en el uso de inteligencia artificial generativa aplicada como recurso de soporte técnico autónomo.

2. DESARROLLO TÉCNICO

La implementación del certificado digital se llevó a cabo en un servidor institucional, administrado por la Dirección General de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC), en un entorno con acceso limitado y sin privilegios de superusuario (ver Figura 1).

Figura 1

Ambiente de trabajo

Dado este contexto, se optó por una solución compatible con entornos de usuario estándar. Se seleccionó el cliente acme.sh, ya que permite generar certificados digitales válidos sin requerir instalación como *root* y ha sido documentado en la literatura técnica como una herramienta ligera y efectiva para contextos restringidos (Kumar & Sharma, 2018).

De forma complementaria, se utilizó ChatGPT (modelo GPT-4o; OpenAI, 2024), como recurso de apoyo para guiar cada fase del procedimiento técnico. A partir de una necesidad concreta (generar un certificado

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 89 - 94

digital sin privilegios de administrador), se inició un proceso iterativo de consulta y validación, donde la herramienta fue proporcionando instrucciones ajustadas a cada contexto del servidor.

La formulación precisa de preguntas técnicas (incluyendo la descripción de los comandos utilizados y los mensajes de error obtenidos en consola) permitió interpretar correctamente instrucciones, comprender el funcionamiento de herramientas como acme.sh y adaptar procedimientos convencionales a un entorno restringido. Este enfoque no sólo orientó la solución, sino que facilitó a la IA identificar el punto exacto del fallo y proponer ajustes adecuados al entorno operativo.

Ante errores inesperados, como conflictos de permisos, fallos de validación o estructuras de directorios no reconocidas, se reformularon las consultas, lo que derivó en una mejora progresiva de las respuestas. Esta interacción continua con la IA facilitó una comprensión operativa del proceso y permitió alcanzar de manera autónoma la emisión del certificado digital, sin intervención de personal especializado ni privilegios de administrador, lo cual representó una alternativa viable y documentada para fortalecer la seguridad web institucional.

La generación del certificado requirió condiciones mínimas, como acceso al servidor vía SSH, ubicación del directorio raíz, permisos de lectura y escritura y un cliente SFTP para la transferencia de archivos, lo que permitió ejecutar el procedimiento de forma segura y autónoma, sin afectar la estabilidad del sistema.

Verificación del sistema operativo

Al ingresar al servidor mediante el cliente PuTTY para la conexión SSH, se verificó la distribución del sistema operativo ejecutando el comando cat /etc/os-release en la terminal Bash. Esta comprobación fue clave, ya que algunas herramientas de instalación requieren bibliotecas o entornos específicos para funcionar correctamente. En este caso, se descartó el uso de Certbot, una herramienta escrita en Python, debido a que la distribución CentOS Linux 7 no contaba con Python 3, una dependencia común en sistemas más recientes.

Instalación de acme.sh sin privilegios de root

La herramienta para emitir y gestionar certificados SSL seleccionada fue acme.sh, la cual es un cliente ligero y completamente escrito en shell (Bash) que permite emitir y renovar certificados SSL/TLS desde Let's Encrypt y otras autoridades certificadoras, sin necesidad de contar con privilegios de superusuario (*root*). Esta herramienta es especialmente útil en entornos restringidos, ya que no depende de Python ni de bibliotecas externas, a diferencia de otras soluciones como Certbot. Su funcionamiento se basa en el protocolo ACME (Automatic Certificate Management Environment) y permite realizar validaciones y emisiones automatizadas de certificados, siendo ideal para servidores con acceso limitado.

A partir de la descripción detallada del entorno operativo proporcionada, que incluía el tipo de servidor, la ausencia de privilegios de administrador y la estructura de directorios donde se alojaban los archivos del sitio web, se solicitó a ChatGPT (modelo GPT-4o) orientación específica para llevar a cabo la instalación de acme.sh de forma segura y compatible con dichas restricciones. Con base en esta información, la herramienta generó una secuencia de comandos adaptada al contexto, lo que permitió ejecutar correctamente cada paso.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 90 - 94

Como parte del inicio de la instalación de acme.sh, la indicación de ChatGPT fue crear un directorio dentro del entorno del usuario en la ruta donde se encuentra alojado el sitio web (/home/sitiowebinstitucional/), con el fin de almacenar el *script* y sus archivos de configuración: mkdir -p ~/.acme.sh

Con base en el análisis del entorno y la ruta establecida, se indicó la instrucción adecuada para obtener el *script* principal desde su repositorio oficial en GitHub, almacenándolo directamente en el directorio recién creado: curl -o ~/.acme.sh/acme.sh https://raw.githubusercontent.com/acmesh-official/acme.sh/master/acme.sh

Posteriormente, se dieron los permisos de ejecución respectivos: chmod +x ~/.acme.sh/acme.sh

Configuración de la autoridad certificadora (CA)

Finalizada la instalación de acme.sh, de acuerdo con las indicaciones proporcionadas, se procedió a configurar la autoridad certificadora predeterminada. Aunque esta herramienta utiliza por defecto ZeroSSL, la sugerencia generada ante la consulta realizada indicó cambiarla debido a problemas recurrentes de visibilidad y acceso a los archivos locales que esa opción ocasionaba en entornos restringidos.

Como alternativa, se recomendó establecer a Let's Encrypt como autoridad certificadora principal, lo cual permitió una integración más fluida y sin restricciones adicionales. La instrucción correspondiente fue: ~/.acme.sh/acme.sh –set-default-ca –server letsencrypt

Emisión del certificado SSL

El siguiente paso consistió en generar el certificado digital para el dominio correspondiente al sitio web institucional. Para ello, se empleó el método webroot (validación mediante archivos temporales colocados en el directorio público del sitio), que permite demostrar el control sobre el dominio sin modificar la configuración del servidor: ~/.acme.sh/acme.sh –issue –webroot /home/sitiowebinstitucional/htdocs -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx

La elección del método webroot respondió a las limitaciones técnicas del entorno, particularmente la falta de privilegios de administrador. Dado que no era posible modificar la configuración de red ni suspender servicios activos como Apache (servidor web que gestiona las solicitudes HTTP), se optó por esta alternativa, que permitió validar el dominio sin intervenir en los puertos del servidor.

Creación manual del directorio del dominio (en caso necesario)

En algunos entornos, la ejecución del comando anterior no crea automáticamente el directorio correspondiente al dominio en la ruta de acme.sh. Por ello, la instrucción fue verificar su existencia y, en caso de ausencia, ejecutar: mkdir -p ~/.acme.sh/www.sitiowebinstitucional.unam.mx_ecc. Esto aseguró que los archivos generados (.cer, .key, .csr) pudieran almacenarse correctamente para su posterior uso.

Verificación de archivos generados

Para validar la correcta emisión del certificado, se ingresó al directorio: cd ~/.acme.sh/www.sitiowebinstitucional.unam.mx_ecc

En este punto, se esperaban los archivos: www.sitiowebinstitucional.unam.mx.key, www.sitiowebinstitucional.unam.mx.cer, fullchain.cer y ca.cer. La generación de estos elementos confirmó el éxito de la operación y su disponibilidad para empaquetado y entrega institucional.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 91 - 94

Empaquetado de certificados

Con los archivos generados, se procedió a agruparlos en un archivo comprimido:

tar czf certs-sitiowebinstitucional.tar.gz www.sitiowebinstitucional.unam.mx.key fullchain.cer www.sitiowebinstitucional.unam.mx.cer

Este paquete se entregó a la DGTIC mediante una solicitud realizada a través del sitio https://soporte.dc.unam.mx, la cual fue gestionada por el responsable TIC del área universitaria correspondiente.

Renovación del certificado

Aunque el certificado generado tiene una validez limitada, acme.sh permite su renovación automatizada mediante el siguiente comando: ~/.acme.sh/acme.sh –renew -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx

En caso de necesitar renovación inmediata por problemas técnicos, la herramienta sugiere utilizar la opción forzada: ~/.acme.sh/acme.sh –renew –force -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx

Verificación del contenido del certificado

Finalmente, se realizaron pruebas de validación del contenido del certificado digital generado para asegurar su correcto formato y vigencia. Se indicó el uso de los siguientes comandos dentro del directorio /home/sitiowebinstitucional/.acme.sh/www.sitiowebinstitucional.unam.mx_ecc/:

openssl x509 -in fullchain.cer -text -noout

openssl x509 -enddate -noout -in fullchain.cer

Este paso fue importante para verificar que los archivos fueran funcionales y estuvieran listos para ser instalados en el entorno institucional.

2.1 ERRORES TÉCNICOS RECURRENTES

Ausencia de Python 3

Al intentar instalar certbot como primera opción, el sistema arrojó el mensaje `python3: command not found`, lo que evidenció la falta de esta dependencia en el entorno operativo. Por ello, se descartó el uso de certbot y ChatGPT (modelo GPT-4o) optó utilizar acme.sh, herramienta que no requiere Python y se ajusta a sistemas sin privilegios administrativos: curl https://get.acme.sh | sh

***Script* certbot-auto obsoleto**

Al intentar ejecutar certbot-auto, el sistema devolvió errores 404 y fallos de permisos, confirmando su desuso oficial, por lo que se eliminó esta opción del flujo operativo y se reforzó la selección de acme.sh como solución principal.

Falta de crontab

Durante la instalación de acme.sh, el sistema sugirió habilitar *crontab* para automatizar la renovación, pero no se contaba con acceso a este componente, por lo que se emitió el certificado manualmente sin cron: ~/.acme.sh/acme.sh –issue –webroot /home/sitiowebinstitucional/htdocs -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx. Esta alternativa respondió a una necesidad operativa inmediata, sin requerir configuración adicional por parte del administrador del sistema.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 92 - 94

Emisión inicial con ZeroSSL

El primer intento de emisión generó certificados bajo ZeroSSL, autoridad por defecto en acme.sh, pero sus archivos no fueron localizables en el directorio esperado, por lo que se modificó la configuración para usar Let's Encrypt como autoridad principal y se reemitió el certificado exitosamente: ~/.acme.sh/acme.sh –set-default-ca –server letsencrypt

~/.acme.sh/acme.sh –issue –force –webroot /home/sitiowebinstitucional/htdocs -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx

Ausencia de archivos .cer y .key tras la emisión

Luego de emitir el certificado, los archivos esperados no se encontraron en el directorio de almacenamiento, lo que generó dudas sobre si el proceso se había completado correctamente, por lo que se ejecutó una renovación forzada con acme.sh, lo cual regeneró los archivos en la ruta prevista: ~/.acme.sh/acme.sh –renew –force -d www.sitiowebinstitucional.unam.mx

2.2 METODOLOGÍA

La implementación del certificado digital en un entorno universitario sin privilegios de administrador implicó un proceso dividido en cuatro etapas: diseño, configuración, instalación y pruebas. Cada fase fue desarrollada con base en criterios técnicos fundamentados, priorizando herramientas ligeras, seguras y replicables. Para resolver dudas, validar comandos y superar errores operativos, se recurrió al uso de inteligencia artificial generativa como recurso de apoyo adaptativo, lo que permitió orientar cada paso con base en las condiciones reales del servidor. La metodología aplicada respondió a la necesidad de una solución replicable, segura y adaptada a entornos con acceso limitado.

Diseño

Durante esta etapa, se identificaron los requerimientos del entorno: sistema CentOS 7, sin acceso *root* ni instalación de dependencias complejas como Python. Con base en ello, se descartaron herramientas como certbot y se eligió acme.sh, una alternativa ligera, portable y adecuada para usuarios sin privilegios elevados (Kumar & Sharma, 2018; Scherf, 2021). La decisión se apoyó también en buenas prácticas documentadas por la comunidad de Let's Encrypt (ISRG, 2025).

Configuración

Se validaron los elementos mínimos necesarios para el procedimiento: sistema operativo compatible, ubicación del directorio raíz del sitio, acceso SSH (mediante el cliente PuTTY) y permisos de escritura. Se seleccionó el método de validación *webroot*, que permite demostrar el control del dominio sin modificar los puertos del servidor ni detener servicios activos como Apache (servidor HTTP). Asimismo, se configuró a Let's Encrypt como autoridad certificadora predeterminada, en lugar de ZeroSSL, debido a problemas de accesibilidad y visibilidad de archivos detectados en pruebas preliminares.

Instalación

La instalación se llevó a cabo en un entorno controlado, empleando un *script* accesible sin permisos de *root*. La herramienta seleccionada permitió generar y organizar los archivos requeridos (.key, .cer, .csr) de forma autónoma. Las instrucciones específicas se obtuvieron en función de consultas detalladas realizadas a un modelo de lenguaje generativo, el cual adaptó cada paso a las restricciones del servidor.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 Vol. 3, Núm. 4. octubre-diciembre 2025, págs. 93 - 94

Esta asistencia permitió superar errores comunes, como conflictos de permisos, rutas incorrectas o incompatibilidades entre herramientas.

Pruebas

Los certificados generados fueron verificados en cuanto a formato, vigencia y funcionamiento. Una vez entregados a la DGTIC, se habilitó el acceso seguro al sitio web institucional. Esta validación se realizó siguiendo buenas prácticas señaladas por Stallings (2022), quien destaca el uso de certificados digitales confiables y del protocolo HTTPS como elementos clave para proteger las comunicaciones web.

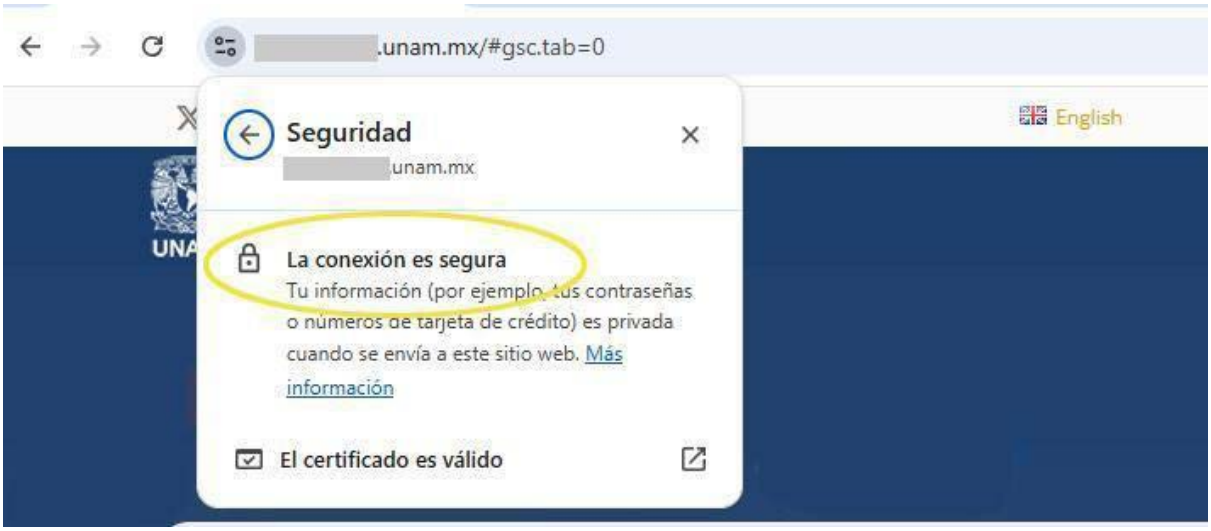
3. RESULTADOS

La instalación del certificado digital en el sitio web institucional se completó con éxito, logrando la emisión, validación y activación de un certificado válido mediante el cliente acme.sh. Esta acción resolvió la problemática técnica planteada, al habilitar el protocolo HTTPS en un entorno sin privilegios de administrador.

Los archivos generados (.key, .cer, fullchain.cer) fueron empaquetados y entregados a la DGTIC, donde el administrador del servidor realizó su instalación. Posteriormente, se verificó el acceso seguro al sitio, la validez del certificado mediante comandos de OpenSSL y se navegó en el entorno web https://www.sitiowebinstitucional.unam.mx (ver Figura 2).

Figura 2

Sitio Web institucional (seguro)



Durante el procedimiento se identificaron fallos como la emisión inicial por ZeroSSL, la ausencia de Python 3 y la falta de acceso a *crontab*, los cuales fueron solucionados mediante ajustes técnicos y el uso de inteligencia artificial generativa como herramienta de apoyo.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.143 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 94 - 94

En comparación con opciones descartadas como *certbot*, acme.sh ofreció mayor compatibilidad y autonomía en entornos restringidos, lo que justificó su elección. Los resultados alcanzados confirman que la solución implementada fue efectiva, segura y replicable en condiciones similares.

4. CONCLUSIONES

Gracias al apoyo del uso de ChatGPT con el modelo GPT-4o como recurso de soporte técnico autónomo se pudo lograr el objetivo mencionado del reporte.

Se logró la generación, validación y entrega de un certificado SSL confiable, utilizando acme.sh como herramienta ligera y compatible con entornos sin acceso *root*, aplicando el método *webroot* para la verificación del dominio. Esta implementación permitió habilitar el protocolo HTTPS en el sitio web institucional, con lo cual se reforzó la confidencialidad e integridad de la información transmitida, alineándose con los estándares de seguridad web actuales.

El proceso técnico evidenció que es posible ejecutar procedimientos avanzados de protección web en servidores basados en GNU/Linux, sin necesidad de privilegios de administrador ni de dependencias complejas como Python o Certbot. Además, la automatización mediante *scripts* en shell (.sh) simplificó significativamente las tareas de emisión y renovación de certificados.

El acompañamiento proporcionado por la inteligencia artificial generativa favoreció el aprendizaje autónomo, orientó con precisión cada etapa del proceso y permitió reducir el margen de error durante la ejecución. Este enfoque híbrido, que combina herramientas de código abierto y asistencia por IA, representa una alternativa eficaz y replicable en otras dependencias universitarias con recursos limitados o sin personal dedicado a la seguridad informática.

Se recomienda documentar este procedimiento en la base de conocimientos institucional, fomentar la capacitación continua en temas generales de ciberseguridad y promover espacios de formación impartidos por especialistas. Finalmente, se sugiere considerar la incorporación sistemática de asistentes basados en inteligencia artificial generativa como recurso complementario para el diagnóstico, orientación y resolución de tareas técnicas en entornos operativos restringidos.

REFERENCIAS

Anderson, R. (2020). *Security Engineering: A guide to building dependable distributed systems (3.ª ed.)*. Wiley.

Internet Security Research Group. (2025). Getting Started – Let's Encrypt. Recuperado de https://letsencrypt.org/getting-started/

Kumar, R., & Sharma, P. (2018). Comparative study of SSL Certificate Generation Techniques. *International Journal of Computer Applications,* 179(7), 1–4.

OpenAI. (2024). ChatGPT (modelo GPT-4o) [IA generativa]. https://chat.openai.com/

Scherf, T. (2021). *Obtain certificates with acme.sh*. ADMIN Magazine, 65. Recuperado de https://www.admin-magazine.com/Archive/2021/65/Obtain-certificates-with-acme.sh

Stallings, W. (2022). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice (8ª ed.)*. Pearson Education.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 95 - 110

Construcción de directrices para el cumplimiento normativo en infraestructuras críticas de tecnologías de la información para instancias educativas autónomas

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

Cruz García, A. y Martínez López, A. Construcción de directrices para el cumplimiento normativo en infraestructuras críticas de tecnologías de la información para instancias educativas autónomas. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (95 - 110). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133

Adriana Cruz García
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
adriana.cruz@unam.mx
ORCID: 0009-0004-1857-7761

Andrés Martínez López
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación
Universidad Nacional Autónoma de México
andres.martinez@unam.mx
ORCID: 0009-0002-9683-9697

Resumen

El inminente incremento en el uso de la tecnología al interior de las instituciones educativas conlleva riesgos latentes que deben ser considerados dentro del marco legislativo y normativo institucional. Intentar llevar a cabo esta implementación de manera íntegra puede resultar excesivamente complejo y costoso, ya que estos marcos suelen ser extensos y puntualizan actividades que sobrepasan las capacidades, procesos y requerimientos de la institución. Además, estas funciones adicionales pueden generar desorganización al interior y repercutir en la productividad operativa, perdiendo de vista el objetivo central de la seguridad de la información. Por lo anterior, fue necesario el desarrollo inicial de un instrumento de cumplimiento para la gobernanza en tecnologías de la información y seguridad de la información que permitiera integrar la legislación vigente y emergente, contemplando la heterogeneidad tecnológica al interior de la Universidad

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 96 - 110

Nacional Autónoma de México. Este instrumento busca promover la coherencia institucional mediante la implementación de directrices que permitan converger a todas las entidades universitarias hacia objetivos comunes y cumplir con la función principal de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación: normar y supervisar la gobernanza institucional de las tecnologías de la información y la comunicación. Este esfuerzo sólo representa la base de un marco normativo más amplio para el manejo y supervisión de las tecnologías de la información y la comunicación, y debe ser perfeccionado acorde a su tiempo, así como acotado ante los procesos de digitalización y transformaciones inminentes al interior de la universidad.

Palabras clave:

Ciberseguridad, gestión tecnológica universitaria, normas de seguridad.

Abstract

The imminent increase in the use of technology within educational institutions carries latent risks that must be considered within the institutional legislative and regulatory framework. Fully implementing this can be excessively complex and costly, as these frameworks are often extensive and specify activities that exceed the institution's capabilities, processes and requirements. Furthermore, these additional functions can generate internal disorganization and impact operational productivity, losing sight of the central objective of information security. Due to the above, it was necessary the initial development of a compliance instrument for information technology and information security governance that allowed to integrate current and emerging legislation, taking into account the technological heterogeneity within the Universidad Nacional Autónoma de México. This instrument seeks to promote coherence through the implementation of guidelines that allow all university entities to converge toward common objectives and fulfill the main function of the Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación: to regulate and supervise the institutional governance of information and communication technologies. This effort only represents the basis of a broader regulatory framework for the management and supervision of information and communications technologies and it must be perfected in accordance with the times, as well as delimited in light of the digitalization processes and imminent transformations within the university.

Keywords:

Cybersecurity, university technological management, security norms.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del incremento en el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en las instituciones, ha sido fundamental contar con marcos de referencia para su gobernanza; sin embargo, la mayor parte de pautas establecidas por diferentes organizaciones, tanto nacionales como internacionales, se enfocan en industrias del sector financiero, industrial, comercial o de telecomunicaciones, dejando a un lado el sector educativo y obligando a entidades universitarias a crear modelos de gobernanza que respalden sus estrategias y marcos regulatorios (Cordero Guzmán & Bribiesca Correa, 2018).

Por lo anterior, las organizaciones, en general, se han visto envueltas en una transformación digital, sin embargo, es fundamental que tanto las herramientas como los instrumentos normativos y de control

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 97 - 110

también sean actualizados con este nuevo enfoque. Por ello, es importante que las instituciones de educación superior, que afirman ser líderes en su dominio y buscan mantenerse dentro de un escenario competitivo, desarrollen y evolucionen íntegramente sus modelos de operación y de normatividad (Benavides et al., 2020).

Como afirman Zhong, Vatanasakdakul y Aoun, los marcos de Gobernanza de TIC necesitan adaptarse a la cultura de cada región y país, en el que el conocimiento y experiencia dentro de cada organismo será influyente (Zhong et al., 2012). Es así como se plantea una problemática para la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), una de las universidades más importantes a nivel nacional y latinoamericano, que, dada su extensa pluriculturalidad y una heterogeneidad tecnológica a través de sus diferentes campus, facultades y entidades, ha tenido la necesidad de normar y supervisar la gobernanza de las Tecnologías de Información y Comunicación, función de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC).

Para tal efecto, la DGTIC ha impulsado el desarrollo de documentos normativos que permitan comprobar el nivel de cumplimiento en las infraestructuras de Tecnologías de la Información dentro de cada entidad universitaria, con el propósito de robustecer la gobernanza en TIC dentro de la universidad. Este esfuerzo busca alinear instrumentos técnicos existentes e identificar cuáles carecían de atención.

El objetivo del presente reporte técnico es abordar la metodología y los criterios discernidos para el desarrollo de las *Directrices generales en torno a la seguridad de la información que obra en los sistemas informáticos de la UNAM* (DGTIC-UNAM, 2023), con el propósito de apoyar a las entidades y dependencias de la universidad en el cumplimiento de medidas de seguridad en los sistemas informáticos, instrumento que favorece una gobernanza íntegra en TIC al interior de la UNAM.

2. DESARROLLO TÉCNICO

La información al interior de la UNAM es uno de los insumos para mantener las tres tareas sustanciales de esta institución: la docencia, la investigación y el desarrollo cultural; a través de las cuales se maneja información de carácter sensible y/o confidencial como son los trabajos de investigación orientados a la academia, así como los datos personales de la comunidad universitaria. Esto convierte a la institución en un objetivo codiciado para los ciberdelincuentes, quienes buscan la obtención de esta información para fines ilícitos, manchando la reputación y confianza de la universidad.

Es importante tener en claro que proteger un activo no se trata sólo de la computadora en la que se almacenan datos. De acuerdo con Computer Security Resource Center, un activo debe comprenderse como:

> Un elemento de valor para las partes interesadas. Un activo puede ser tangible (p. ej., un elemento físico como hardware, firmware, plataforma informática, dispositivo de red u otro componente tecnológico) o intangible (p. ej., personas, datos, información, software, capacidad, función, servicio, marca registrada, derechos de autor, patente, propiedad intelectual, imagen o reputación). El valor de un activo lo determinan las partes interesadas considerando las posibles pérdidas a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema. Estas preocupaciones incluyen, entre otras, las relacionadas con el negocio o la misión. (NIST, s.f.)

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 98 - 110

El modelo más sencillo consistiría en implementar todos los sistemas e infraestructuras de TIC de forma idéntica, lo que permitiría mantener un cerco controlable de la información; sin embargo, la implementación de éste causaría un gran impacto en los recursos universitarios debido a que la universidad mantiene una diversidad de tecnologías, incluso algunas desarrolladas con adaptación a los recursos y requerimientos específicos de las entidades y dependencias, las cuales han evolucionado y fortalecido con el paso del tiempo.

Esta situación implica realizar un instrumento orientado a la gobernanza de TIC enfocado en la seguridad de la información al interior de la universidad; como lo indica Carlos Franco Reboreda (2024) en su artículo "Gobierno de las Tecnologías de Información":

> El propósito fundamental del Gobierno de TI es ofrecer principios rectores claros y precisos para los integrantes de la dirección de las organizaciones y las personas que los respaldan en su gestión. Estos principios están diseñados para garantizar que el uso de la tecnología de la información sea eficaz, eficiente y aceptable desde un punto de vista ético y operativo.

Actualmente, la universidad cuenta con una serie de documentos normativos que abordan la seguridad de la información y que obedecen a las buenas prácticas, sin embargo, son esfuerzos aislados que no se articulan entre sí, por lo que se requiere de un instrumento que realice una estructura integral que aborde aspectos digitales y físicos.

El instrumento, que en lo sucesivo se denominará *Directrices-Ciberseguridad-UNAM*, si bien debe adaptarse a los recursos y necesidades con los que cuenta la universidad, también debe mantener una trazabilidad y facilitar su implementación al interior de las entidades y dependencias, ocupando como referencia marcos normativos internacionales que impulsen la credibilidad y solidez en la implementación.

Con esto, no se pretende que las entidades y dependencias realicen un retrabajo de su infraestructura, sino que realicen un análisis crítico por medio de una estrategia metódica para identificar áreas de mejora y elementos que puedan optimizarse con base en sus necesidades. Posteriormente, podrán explorar las alternativas viables para la adaptación e implementación en sus respectivas áreas, dando paso a un gobierno de Tecnología de la Información.

2.1 METODOLOGÍA

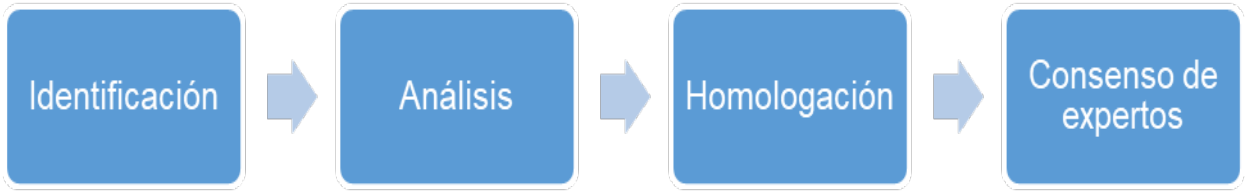
Para iniciar las primeras investigaciones e identificación preliminar de los tipos de activos que serían involucrados en una primera versión de las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM*, se tuvo en claro que el documento debería ser elaborado tomando como referencia marcos internacionales. Esto permitió acercar a la universidad a puntos de comparación más allá del ámbito nacional, vislumbrando que, en un posible futuro, este tipo de documentos normativos puedan ser un punto de partida para la colaboración y retroalimentación entre instituciones educativas.

Para abordar las problemáticas inherentes en el desarrollo de un documento normativo que permita alinear instrumentos de cumplimiento técnico, dada la heterogeneidad tecnológica al interior de la universidad como principal desafío, se implementó una metodología que permitiera seguirse en futuras revisiones, descrita en 4 fases:

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 99 - 110

Figura 1

Diagrama de la metodología seguida



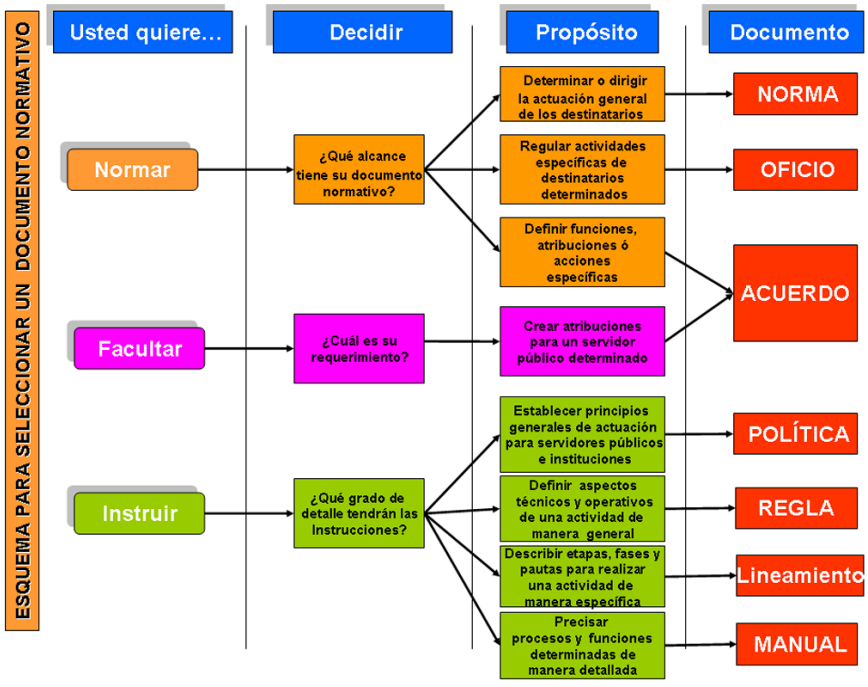
Identificación del tipo de instrumento a desarrollar

De acuerdo con la *Guía para emitir documentos normativos* en su tercera edición, expedida por el Gobierno Federal, se busca "un instrumento que facilite el desarrollo y estandarización de su marco normativo, haciéndolo, simple, ágil y de fácil aplicación" (Subsecretaría de la Función Pública [SFP], 2011).

De esta forma, para determinar qué tipo de instrumento se requería, se tomó como base su esquema propuesto (Figura 2), identificando que, para este estudio, se buscaba la creación de un documento normativo que permitiese instruir a titulares y responsables TIC de las diferentes entidades y dependencias, a fin de evaluar y robustecer la gobernanza y seguridad de la información de su propia infraestructura TIC.

Figura 2

Esquema para la selección de documentos normativos



Nota. De la *Guía para emitir documentos normativos*, por la Subsecretaría de la Función Pública, 2011.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 100 - 110

2.1.1 ANÁLISIS NORMATIVO ESTRUCTURADO

La implementación efectiva de estándares o documentos normativos en materia de seguridad de la información y gobernanza de TIC no puede llevarse a cabo sin el empleo de marcos de ciberseguridad que proporcionen procesos de alcance, implementación y evaluación, ofreciendo lineamientos aplicables dentro de una organización. Estos marcos otorgan una estructura y metodología general para proteger activos informáticos críticos (Taherdoost, 2022). Una vez adaptado este proceso al contexto de la universidad e identificado el tipo de instrumento a desarrollar, con un contexto internacional en mente, se procedió a realizar un análisis de cinco marcos normativos establecidos por diversas organizaciones en materia de seguridad de la información:

- NIST SP 800-53 Rev.5 Controles de seguridad y privacidad para sistemas de información y organizaciones (NIST, 2020): Este marco normativo enlista una serie de controles de seguridad y privacidad dirigidos a organizaciones que buscan proteger sus operaciones y activos a través de un proceso a nivel organizacional, es decir, que están muy relacionados con la filosofía y operación de la organización desde una visión de capacidad y salvaguarda de la información. Este estándar cuenta con 20 familias de controles, teniendo en cada familia controles base y, en algunos casos, controles de reforzamiento, sumando más de 1000 controles según el caso; en este trabajo, se utilizó la versión con 1189 controles. Así mismo, se encuentran clasificados como controles comunes, controles específicos del sistema y controles híbridos.
- NIST SP 800-171 Protección de información controlada y no clasificada en sistemas y organizaciones no federales (NIST, 2024): Existe información que puede impactar en procesos críticos que afecten otras instancias de carácter gubernamental. Este marco normativo proporciona controles para preservar la confidencialidad de información cuando ésta reside en sistemas y organizaciones no federales, como es el caso de la universidad en su calidad de autónoma. Los controles buscan salvaguardar la información que se procesa, transmite y almacena en los sistemas y activos, evaluando los requisitos de seguridad. Este estándar cuenta con 17 familias de controles. Cada familia cuenta con sus requisitos de seguridad. En este caso, al hablar de requisitos, nos referimos a un contexto específico de un control de seguridad.
- Marco de Ciberseguridad del NIST (NIST, 2024): Este marco normativo es una guía para identificar el nivel de madurez de la organización independientemente del tamaño que tenga. Esto permite identificar las oportunidades de mejora y orientar sobre sus iniciativas de ciberseguridad que podrían complementar sus controles actuales para lograr resultados exitosos. Este marco no contiene controles a implementar, en su caso, se dividen en 106 subcategorías, las cuales, para este trabajo, se utilizaron como referencia; estas subcategorías se encuentran agrupadas en 6 funciones principales: gobernar, identificar, proteger, detectar, responder y recuperar.
- Controles de Seguridad Críticos de CIS (CIS, 2023): Este conjunto de controles se vislumbran desde una perspectiva de estrategia técnica. Estos controles se centran en medidas de seguridad simplificadas para atender una acción específica. Se dividen en 18 familias técnicas, de las cuales derivan 153 acciones específicas tanto de carácter técnico como administrativo. Estas acciones, a su vez, se encuentran clasificadas en grupos para implementar: básicos, intermedios y avanzado; esto según el nivel de madurez de la organización.
- ISO/IEC 27001 Seguridad de la Información (ISO/IEC, 2013): Es una norma orientada a sistemas de

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 101 - 110

gestión de seguridad de la información y se basa en un sistema de controles que permita gestionar los riesgos asociados a la seguridad de datos al interior de una organización. Esta norma se alinea con otras normas ISO, lo que permite una implementación conjunta basada en la mejora continua. Para este caso, se utilizó la norma que se divide en 14 temas centrales, de los cuales se derivan 114 controles orientados a la seguridad de la información tanto física y tecnológica como de los usuarios. Aunque esta norma fue actualizada en 2022, se establece un período de transición de tres años durante el cual su vigencia sigue siendo válida.

El estudio de los marcos normativos proporcionó una serie de ideas que fueron integradas y articuladas con el fin de desarrollar una propuesta orientada a las particularidades y demandas de la universidad.

2.1.2 HOMOLOGACIÓN DE LOS ELEMENTOS APLICABLES

Como se menciona en el marco de Gestión Integrada de Riesgos de Ciberseguridad (i-CSRM) (Kure et al., 2022): "Identificar los objetivos de seguridad de los activos es vital para que una organización determine qué aspectos críticos de la seguridad debe garantizar cada activo durante su procesamiento, almacenamiento o transmisión por parte de sistemas, aplicaciones o personas autorizadas", por lo que se abordó un análisis comparativo de los cinco marcos de trabajo estudiados, identificando áreas de convergencia que resultan pertinentes y aplicables al contexto universitario, así como tomando en cuenta los aspectos técnicos fundamentales para la seguridad de la información.

En total, se obtuvo una matriz de 1138 elementos, homologando aquellos puntos que aportaban valor a las tareas esenciales de la universidad. Para incluir o descartar los elementos, se tomaron dos consideraciones importantes:

1. Que los elementos se alinearan a las actividades esenciales de la universidad: docencia, investigación y cultura.
2. Que los elementos repetitivos y consistentes en los marcos normativos fueran unificados.

Figura 3

Método para la homologación de aspectos técnicos

Nota. De *Directrices generales en torno a la seguridad de la información que obra en los sistemas informáticos de la UNAM* de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, 2023.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 102 - 110

El análisis realizado permitió identificar y seleccionar un conjunto mínimo de controles considerados estrictamente indispensables para una infraestructura informática con enfoque en seguridad de la información. El objetivo principal fue alinear controles con la normativa vigente e identificar posibles brechas de seguridad existentes, tomando en cuenta los distintos contextos que enfrenta cada entidad universitaria.

2.1.3 CONSENSO DE EXPERTOS

Como parte final del desarrollo, se entregó un manuscrito de las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* a varios especialistas en tecnologías de información y comunicación pertenecientes a distintas entidades y dependencias de la UNAM, con el propósito de obtener una revisión crítica con base en su conocimiento y experiencia.

Este consenso de expertos debe ser visto como una fuente de conocimiento que sustenta acuerdos construidos colectivamente para la toma de decisiones informadas a través de sus funciones principales, tales como la definición y estandarización de conceptos, terminologías y mediciones. De igual forma, se evalúa la calidad de los resultados y se emiten juicios de valor (Jorm, 2025) tanto técnicos como normativos que permitan aproximar las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM*, como instrumento de cumplimiento técnico, a una versión completa que abarque, en lo general, las necesidades de la universidad y, en lo particular, las características fundamentales para la seguridad dentro de infraestructuras informáticas.

La metodología aquí sugerida es adaptable y permite su aplicación en cada actualización o mejora que se plantee realizar al instrumento normativo, con la finalidad de asegurar su mejora continua e innovación ante el inminente progreso de la entidad y de la propia universidad.

3. RESULTADOS

Como fruto de este análisis, se desarrolló el documento normativo *Directrices generales en torno a la seguridad de la información que obra en los sistemas informáticos de la UNAM* (DGTIC-UNAM, 2023) para apoyar a las entidades y dependencias de la universidad. Éste es el primer esfuerzo en consolidar criterios técnicos referidos en marcos normativos internacionales mediante un análisis que sea personalizable a las necesidades específicas de cada entidad.

3.1 CRITERIOS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DE LAS DIRECTRICES-CIBERSEGURIDAD-UNAM

La elección de los tópicos se originó considerando los siguientes factores:

- Ser un documento corto, de fácil entendimiento e implementación sencilla, con la intención de que sea adaptado por todas las áreas de cómputo o afines, en donde exista incluso una sola persona a cargo de los sistemas de información.
- Ser diseñado tomando en consideración los marcos de referencia para que el instrumento tenga un sustento teórico, evitando cualquier tipo de arbitrariedad en el contenido.
- Ser lo suficientemente flexible para la aplicación en la heterogeneidad de las tecnologías y de los sistemas existentes en la UNAM.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 103 - 110

- Ser lo suficientemente acotado a los sistemas de información y no abarcar otros servicios que provoquen la ambigüedad o confusión por parte de los responsables.

Como se mencionó en la sección "2.1.2 Homologación de los elementos aplicables", al realizar la revisión de estándares, se identificaron puntos de coincidencia entre los diferentes controles y requisitos analizados, relevantes en el ámbito universitario, lo que dio como resultado las directrices existentes

3.2 CONTENIDO DEL DOCUMENTO

El instrumento culminó con 13 directrices:

1. Control de acceso
2. Sensibilización y formación
3. Revisión y rendición de cuentas
4. Gestión de la Configuración
5. Identificación y autentificación
6. Respuesta a incidentes
7. Mantenimiento
8. Control de medios digitales
9. Seguridad del personal
10. Protección física
11. Evaluación de la seguridad
12. Protección del sistema y las comunicaciones
13. Integridad del sistema y de la información

Estas directrices permiten a las entidades universitarias evaluar y robustecer la gobernanza y seguridad de la información de su propia infraestructura TIC, así como su grado de cumplimiento con respecto a la legislación. Adoptar las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM*, como marco de referencia, ayuda a la identificación de brechas y a priorizar acciones tanto preventivas como correctivas, alcanzando a ser la base para el desarrollo de planes de mejora continua y de recuperación ante desastres.

Se aborda una ontología relacional en la que los diferentes elementos heterogéneos de la infraestructura de TIC (incluidos desde los recursos humanos hasta resultados algorítmicos) son definidos a través de sus redes relacionales (Sullivan, 2022) y no sólo vistos como entes individuales que deben de ser abordados de forma separada. Este enfoque incorpora conceptos como la seguridad en profundidad, como lo define el NIST (NIST, s.f.), entendida como una estrategia de la seguridad de la información que integra a las personas, la tecnología y las capacidades operativas. De esta manera, se establecen controles variables en múltiples capas, logrando con ello una integración de los diferentes activos involucrados directa e indirectamente a la infraestructura informática de las entidades universitarias.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 104 - 110

Dentro de los juicios de valor de los expertos, es consensuado que las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* sirven como respaldo normativo para los responsables en tecnologías de la información que constantemente emiten propuestas innovadoras y, de la misma forma, son minimizadas o postergadas hasta que un incidente de seguridad sucede, entorpeciendo parte de la transformación digital a la que debe someterse una institución competitiva.

3.3 DOCUMENTOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS RESULTANTES

Como lo mencionamos anteriormente, la universidad mantiene una diversidad de tecnologías implementadas que ofrecen, a su vez, diferentes servicios a la comunidad universitaria; para éstos, las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* son un apoyo para identificar las áreas de mejora en la seguridad de la información. Con base en este instrumento, la DGTIC ha logrado gestionar de manera significativa la política de seguridad de la entidad, documento que se ha vuelto regidor y obligatorio para las áreas al interior.

Así mismo, y a manera de ejemplo, en la Coordinación de Seguridad de la Información dentro de la DGTIC, se tienen desarrolladas guías técnicas de instalación o configuración de diversas herramientas que se comparten con responsables TIC como recomendaciones para ayudarlos a robustecer su infraestructura informática. A partir de la creación de las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM*, abordadas en este documento, ha sido posible alinear las guías técnicas con los puntos referenciados en las directrices, considerando este instrumento como referente para la evaluación del cumplimiento en materia de seguridad de la información dentro de su infraestructura; de esta manera, se deja en los responsables TIC el análisis e implementación de dichas guías teniendo en cuenta el contexto de su entidad universitaria y partiendo de que las recomendaciones proporcionadas responden al cumplimiento de la legislación en materia de gobernanza de TIC y seguridad de la información.

Como se describe en la Tabla 1, el impacto de las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* es significativo al interior de la universidad, ya que, al constituirse como instrumento normativo y de orientación, brinda un marco de referencia para las diversas entidades y dependencias universitarias, permitiendo alinear la documentación vigente y establecer lineamientos fundamentales en la creación de nuevas políticas o documentos normativos. Esto conlleva de manera inherente la actualización e innovación en los procesos y controles en los activos informáticos universitarios.

Tabla 1

Impacto de las directrices

Elemento clave	Descripción	Impacto de las directrices
Diversidad tecnológica	La universidad tiene múltiples tecnologías y servicios implementados.	Instrumento de cumplimiento técnico adaptable a cualquier tecnología o servicio.
Análisis de cumplimiento	Proceso sistemático para evaluar el cumplimiento de una entidad en materia de Gobernanza de TIC y Seguridad de la Información.	Permite identificar puntos de cumplimiento y de mejora al interior de la institución

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 105 - 110

Elemento clave	Descripción	Impacto de las directrices
Desarrollo de políticas	Instrumento normativo que la institución debe seguir para proteger su información, sistemas y activos informáticos.	Funge como pauta para el desarrollo de documentos normativos para la gobernanza en las infraestructuras de TI y resguardo de la información que debe ser ajustada al contexto y necesidades específicas de las entidades y dependencias.
Guías técnicas	Guías técnicas desarrolladas al interior de una dependencia o entidad universitaria como parte de su documentación.	Las guías técnicas se ajustan y alinean a las directrices, respondiendo conforme a la legislación universitaria

Uno de los beneficios más relevantes de contar con las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* es promover la coherencia institucional en la aplicación de controles de cumplimiento técnicos y normativos en materia de Gobernanza de TIC y de Seguridad de la Información, sin importar el nivel de avance tecnológico o particularidades de cada infraestructura informática al interior de la universidad. Al tratarse de un instrumento integrador, permite que todas las áreas converjan hacia objetivos comunes, permitiendo una transformación digital mediante la innovación pertinente de los lineamientos y legislación que rigen en cada una de las entidades y dependencias universitarias.

3.4 TRABAJO CONSTANTE

El estudio y metodología planteada en este reporte técnico es sólo la base de un marco de referencia normativo cuyo desarrollo deberá continuar en fases posteriores. El verdadero valor en el esfuerzo aquí constituido radica en la capacidad de evolución, adaptación y perfeccionamiento a medida que se afrontan nuevos desafíos tecnológicos, incluyendo las amenazas constantes que enfrenta la universidad.

3.5 PRESERVACIÓN DEL INSTRUMENTO

Los marcos normativos, como el resultado de este trabajo, no deben entenderse como productos finales o estáticos, sino como procedimientos que deben mantenerse constantemente actualizados, considerando los cambios en las circunstancias, el entorno, las necesidades del contexto institucional y los riesgos identificados (Angraini et al., 2019); así mismo, es necesario acompañar el desarrollo y procurar mantener la calidad, pero, sobre todo, preservar el objetivo.

De esta manera, como parte de la preservación del instrumento, es necesario incorporar en un futuro a corto o mediano plazo un instrumento de medición que establezca indicadores e intervalos de referencia para determinar de manera cuantitativa su nivel de cumplimiento. Uno de los mecanismos que podrían adoptarse sería el estipulado en la ISO 27004 que establece:

> Este documento proporciona directrices para ayudar a las organizaciones a evaluar el rendimiento de la seguridad de la información y la eficacia de un sistema de gestión de la seguridad de la información. (International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission [ISO/IEC], 2016)

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 106 - 110

A través de ciclos de mejora continua que aborden las siguientes etapas:

1. Identificar las necesidades de la información.
2. Crear y mantener medidas.
3. Establecer procedimientos.
4. Monitorear y medir.
5. Analizar resultados.
6. Evaluar el desempeño de la seguridad de la información y su efectividad.

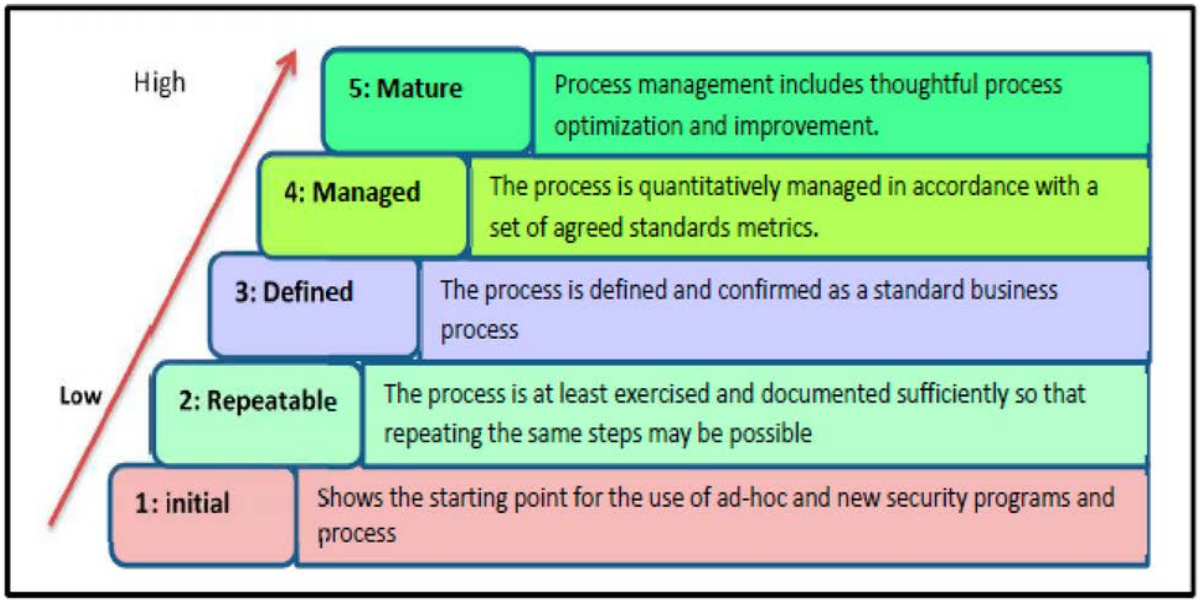
El procedimiento es estructurado y puede modificarse a las necesidades de cada entidad y dependencia universitaria. Es de vital importancia construir un instrumento de estas características, pero con tiempos y recursos de implementación mínimas, ya que un instrumento muy extenso impactaría negativamente la continuidad operativa, sobre todo en aquellas entidades donde los responsables de tecnología de la información y comunicación se reducen a una sola persona; este instrumento se plantea para investigaciones futuras.

3.6 EVALUACIÓN DE MADUREZ

Finalmente, debe plantearse una evaluación del nivel de madurez, como lo menciona Henock Mulugeta Melaku (2023), que describe de forma concisa y estandarizada la postura de seguridad de una organización teniendo como referencia una escala de cinco procesos, como se muestra en la Figura 4:

Figura 4

Procesos para la evaluación del nivel de madurez



Nota. De "A dynamic and adaptive cybersecurity governance framework.", por Melaku, H. M., 2023.

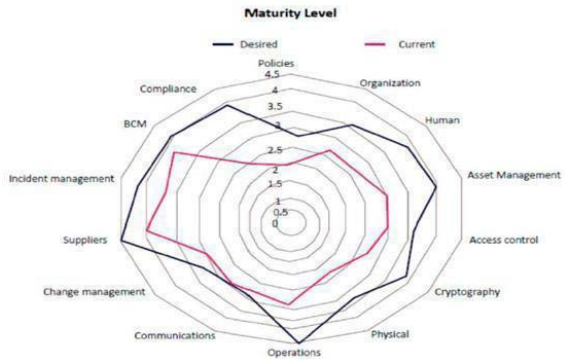
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 107 - 110

1. Inicial: Muestra que la institución comienza a implementar controles de seguridad, pero bajo ningún estándar, proceso definido o buena práctica. Los procesos de seguridad no se evalúan o auditan.
2. Repetible: Las prácticas y procesos de seguridad se documentan para su repetición, sin embargo, no existen métricas de evaluación.
3. Definido: Los procesos están definidos como un estándar. La organización puede analizar riesgos y proponer contramedidas.
4. Gestionado: Los procesos se gestionan cuantitativamente bajo métricas consensuadas.
5. Madurez: En este punto, la institución cuenta con los procesos de seguridad implementados y comienza su optimización bajo un esquema de mejora continua, rigiéndose por políticas y directivas bien definidas. Su efectividad se evalúa periódicamente mediante indicadores de rendimiento.

Esto permitirá contrastar el nivel de madurez actual de la entidad o dependencia universitaria contra el deseado, destacando brechas o puntos de mejora en cada uno de los procesos o controles implementados como se observa en el ejemplo de la Figura 5.

Figura 5

Ejemplo - Gráfico comparativo del nivel de madurez deseado contra el actual



Nota. La línea de color rojo representa el nivel de madurez alcanzado, que contrasta con la línea de color negro que es el nivel de madurez deseado en los diferentes procesos. De "A dynamic and adaptive cybersecurity governance framework.", por Melaku, H. M., 2023.

4. CONCLUSIONES

Uno de los principales objetivos de implementar una gobernanza de tecnologías de la información y comunicación es integrar los recursos tecnológicos con las tareas sustanciales de una organización. Al realizar una correcta implementación, contribuye a mantener un marco de control estructurado, beneficia la eficiencia operativa y se mantiene como prevención para la seguridad de la información; así mismo, busca asegurar la continuidad, eficacia y evolución a futuro.

Derivado de lo anterior, se ha expuesto el estudio y análisis de marcos referenciados en materia de seguridad de la información como parte de una transformación digital que busca la innovación en la

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 108 - 110

normatividad existente y la legislación emergente al interior de entidades universitarias. Los marcos analizados pueden verse acotados debido a sus limitaciones específicas en los componentes tecnológicos, así como la interoperabilidad de estos mismos (Dunsin, 2024), sin dejar de lado las limitantes *per se* de los recursos humanos. Por tal motivo y como se ha mencionado, el desarrollo de este tipo de normativa siempre debe de tomar en cuenta la heterogeneidad y la diversidad tecnológica presentes en el contexto específico de cada entidad.

Cada entidad o dependencia puede definir e implementar las medidas que mejor se adapten a sus recursos y necesidades; las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* ofrecen un primer acercamiento no vinculante, ni limitativo, mismo que busca evolucionar en una fase posterior.

La implementación del instrumento no debe dar por sentado que exista una certeza absoluta de que no se presentarán incidentes de seguridad, como lo menciona Bejarano y Martín en la Revista Management & Innovation:

> **Los ciberataques no se pueden evitar, pero su impacto en el negocio sí se puede controlar.** La resiliencia de la empresa (no de la tecnología) es el objetivo último de cualquier estrategia de ciberseguridad. Los pilares de la mejor estrategia son la sinceridad y la responsabilidad. Las empresas deben actuar ya: la ciberseguridad dejó de ser un problema de TI; ahora ya es evidente para todos que es un reto clave del negocio que debe ocupar una posición destacada en las agendas de la Alta Dirección y los Consejos de Administración. (Bejarano & Martín, 2021)

Hoy en día, nos encontramos en un mundo cada vez más interconectado digitalmente, por lo que salvaguardar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información se considera una necesidad para mantener las actividades sustanciales de la universidad. Implementar controles permite la prevención de incidentes y pérdidas de información, posibilitando una organización estructurada que aporta valor a la universidad; sin embargo, se debe establecer un ciclo de revisión, ya que el continuo avance tecnológico impide que la seguridad se refleje en un 100%.

En términos generales, las *Directrices-Ciberseguridad-UNAM* cumplen con el objetivo principal de normar y supervisar la gobernanza institucional de las tecnologías de información y comunicación al interior de la universidad. Asimismo, sientan las bases para futuros desarrollos y actualizaciones de los instrumentos de cumplimiento normativo en materia de gobernanza de TIC, con un enfoque en seguridad de la información. Además, promueven una perspectiva flexible, progresiva y adaptable al cambio tecnológico constante, siendo un medio de prevención para minimizar el impacto ante situaciones que comprometan la seguridad de la información.

REFERENCIAS

Angraini, R., Alias, R. A., & Okfalisa. (2019). Information security policy compliance: Systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 161, 1216–1224. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.235

Bejarano, F., & Martín, J. L. (2021). La ciberseguridad no es un problema de TI, nunca lo fue. *Harvard Deusto Management & Innovation*, (39). https://www.harvard-deusto.com/la-ciberseguridad-no-es-un-problema-de-ti-nunca-lo-fue

Benavides, L. M. C., Tamayo Arias, J. A., Arango Serna, M. D., Branch Bedoya, J. W., & Burgos, D. (2020). Digital transformation in higher education institutions: A systematic literature review. *Sensors*,

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 109 - 110

20(11), 3291. https://doi.org/10.3390/s20113291

Center for Internet Security. (2023). CIS *Critical Security Controls Version 8.1*. https://www.cisecurity.org/controls/v8-1csf.tools+2

Cordero Guzmán, D., & Bribiesca Correa, G. (2018). Model for information technology governance (GTI) in a university environment. *Computación y Sistemas*, 22(4), 1503–1518. https://doi.org/10.13053/cys-22-4-2797

CSRC Content Editor. (n.d.-c). *Asset – Glossary*. National Institute of Standards and Technology. https://csrc.nist.gov/glossary/term/asset

CSRC Content Editor. (n.d.-c). *Defense-in-depth – Glossary*. National Institute of Standards and Technology. https://csrc.nist.gov/glossary/term/defense_in_depth

Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. (2023). *Directrices generales en torno a la seguridad de la información que obra en los sistemas informáticos de la UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.red-tic.unam.mx/directrices-seguridad-informacion

Dunsin, D. (2024). Evaluating cybersecurity frameworks for protecting consumer IoT devices from emerging phishing and ransomware threats. *Journal of Cybersecurity and Privacy, 3*(4), 327–350. https://doi.org/10.3390/jcp3040017

Franco Reboreda, C. (2024). Gobierno de las Tecnologías de Información. En J.L. Ponce-López, L.M. Castañeda-De León y H. Valles-Baca (Coords.), Estado actual de las tecnologías de la información y las comunicaciones en las instituciones de educación superior en México. *Estudio 2024*. México: Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior.

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2013). *ISO/IEC 27001:2013 – Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems* – Requirements.

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2016). *ISO/IEC 27004:2016 – Information technology — Security techniques — Information security management — Monitoring, measurement, analysis and evaluations*. https://www.iso.org/standard/64120.html

Jorm, A. (2025). Specifying "Experts" and "Consensus". In: *Expert Consensus in Science*. Palgrave Macmillan, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9222-1_7

Kure, H.I., Islam, S. & Mouratidis, H. (2022). An integrated cyber security risk management framework and risk predication for critical infrastructure protection. *Neural Comput & Applic. 34* (15241). https://doi.org/10.1007/s00521-022-06959-2

Melaku, H. M. (2023). A dynamic and adaptive cybersecurity governance framework. *Journal of Cybersecurity and Privacy, 3*(3), 327–350. https://doi.org/10.3390/jcp3030017

National Institute of Standards and Technology. (2020). *Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations* (NIST Special Publication 800-53 Revision 5). https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-53r5

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.133 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 110 - 110

National Institute of Standards and Technology. (2024). *Protecting Controlled Unclassified Information in Nonfederal Systems and Organizations* (NIST Special Publication 800-171 Revision 3). https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/171/r3/final

National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0* (NIST Cybersecurity White Paper No. 29). https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29

Subsecretaría de la Función Pública. (2011). *Guía para emitir documentos normativos*. Secretaría de la Función Pública. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/914320/guia-emitir-documentos-normativos-sfp-07052024.pdf

Sullivan, G. (2022). Law, technology and data-driven security: Infra-legalities as method assemblage. *Journal of Law and Society*, 49(S1), 31–50. https://doi.org/10.1111/jols.12352

Taherdoost, H. (2022). Understanding cybersecurity frameworks and information security standards—A review and comprehensive overview. *Electronics, 11*(14), 2181. https://doi.org/10.3390/electronics11142181

Zhong, X., Vatanasakdakul, S., & Aoun, C. (2012). It Governance In China: Cultral Fit And It Governance Capabilities. *PACIS 2012 Proceedings*. (55). https://aisel.aisnet.org/pacis2012/55

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 111 - 128

Desarrollo e implementación de un *widget* de accesibilidad web de código abierto para entornos institucionales

Información del reporte:

Para citar este reporte técnico:

José García, O. y Salazar Licea, L. A. (2025). Desarrollo e implementación de un widget de accesibilidad web de código abierto para entornos institucionales. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 3* (4) páginas (111 - 128). https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136

Oscar José García
Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México
oscarjg@unam.mx
ORCID: 0009-0009-5272-870X

Luis Antonio Salazar Licea
Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México
LSalazarLicea@unam.mx
ORCID: 0000-0003-3297-3416

Resumen

La accesibilidad web garantiza que los usuarios puedan interactuar con los sistemas en condiciones de inclusión, permitiendo a las personas percibir, entender, navegar e interactuar con un producto web. Ante la falta de una herramienta de código abierto que pudiera ser añadida a los sistemas de la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla, se desarrolló una solución propia que satisface esta necesidad. Se usaron los lineamientos en temas de accesibilidad y visibilidad establecidos por la Universidad Nacional Autónoma de México y la *Web Content Accessibility Guidelines* para el proceso de diseño y elaboración de la herramienta. La metodología que se utilizó como base para la elaboración de la solución fue cascada (*waterfall*), abarcando desde la planeación hasta la operación y mantenimiento de la herramienta. Las pruebas cualitativas y cuantitativas demostraron su viabilidad como una alternativa a las soluciones comerciales, debido a que se pudieron replicar funcionalidades de productos

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 112 - 128

de pago. Esta herramienta inicialmente se incorporó en un micrositio de divulgación de la dependencia y, al ser tecnológicamente agnóstica respecto a lenguajes y marcos de desarrollo, se integró al resto de los sistemas internos. Se implementaron las funcionalidades principales orientadas a mejorar la experiencia del usuario, entre ellas: ajuste de contraste, modificación del tamaño de texto, realce de enlaces, optimización de visibilidad, control de espaciado vertical, alineación del texto y guía de lectura. La implementación de un lector de pantalla quedó fuera del alcance debido a las limitaciones de soporte nativo de algunos los navegadores web; no obstante, se contempla su inclusión en futuras versiones junto con las mejoras que se recopilen de retroalimentaciones de los usuarios finales.

Palabras clave:

Asistencia para navegación, experiencia inclusiva, componente de inclusión digital.

Abstract

Web accessibility guarantees that users can interact with systems under inclusive conditions, allowing them to perceive, understand, navigate and interact with a web product. In the absence of an open-source tool that could be added to the Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla systems, a custom solution that satisfies this necessity was developed. Accessibility and visibility guidelines established by the Universidad Nacional Autónoma de México and the Web Content Accessibility Guidelines were used for the tool design and elaboration process. Waterfall methodology was used as the basis for the development of the solution, covering from planning to operation and maintenance of the tool. The qualitative and quantitative tests demonstrated its viability as an alternative to commercial solutions because they could replicate functionalities of paid products. This tool was initially incorporated in a dissemination microsite of the dependency and, being technologically agnostic with regard to languages and development frameworks, it was integrated into the rest of the internal systems. The main functionalities aimed at improving the user's experience were implemented, among them: contrast adjustment, text size modification, link highlight, visibility optimization, vertical spacing control, text alignment and reading guide. The implementation of a screen reader was out of reach due to native support limitations of some web browsers; nevertheless, its inclusion is contemplated in future versions along with the improvements that can be collected from final users feedback.

Keywords:

Navigation assistance, inclusive experience, digital inclusion component.

1. INTRODUCCIÓN

La accesibilidad, en el contexto web, es un conjunto de acciones y medidas que tienen como objetivo garantizar la inclusión e igualar las condiciones en las que se consume un producto. En este trabajo, se abordó desde tres puntos de vista interconectados: 1. El técnico y de mercado, que busca mejorar la experiencia de todos los usuarios para aumentar el alcance y la usabilidad (Raymond, M. A., et al, 2024); 2. El de cumplimiento legal, que en México responde a la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (LGIPD); y 3. La perspectiva humanística y de derechos humanos. Este último enfoque enmarca la accesibilidad no como una característica opcional, sino como un pilar de la equidad en la era digital. El *World Wide Web Consortium* (W3C) reafirma que la misión de la web es ser universal y

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 113 - 128

operable para todas las personas, independientemente de sus capacidades. Desde esta visión, la falta de accesibilidad no es un fallo técnico, sino una barrera que limita la participación plena en la sociedad y el acceso a derechos fundamentales como la educación, el empleo y la cultura (W3C, 2023). Esta perspectiva sitúa el desarrollo de herramientas accesibles no sólo como un ideal o un mandato legal, sino como un acto de responsabilidad social.

De forma institucional, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC), ha impulsado diversas acciones para el cumplimiento de estos lineamientos, entre las que destacan la emisión de guías de buenas prácticas para la accesibilidad, pautas de accesibilidad para sitios web institucionales, páginas enteras al respecto (https://www.visibilidadweb.unam.mx/buenas-practicas/accesibilidad) y eventos anuales como las Jornadas de Visibilidad Web. Además, la misma DGTIC realiza evaluaciones, mejoras y servicios de accesibilidad en sitios web institucionales mediante la aplicación de estándares y guías como las Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web (WCAG), con el compromiso de asegurar que dichos entornos sean utilizables independientemente de los conocimientos, capacidades personales y características técnicas del equipo utilizado (Moguel Pedraza, F. I., 2024).

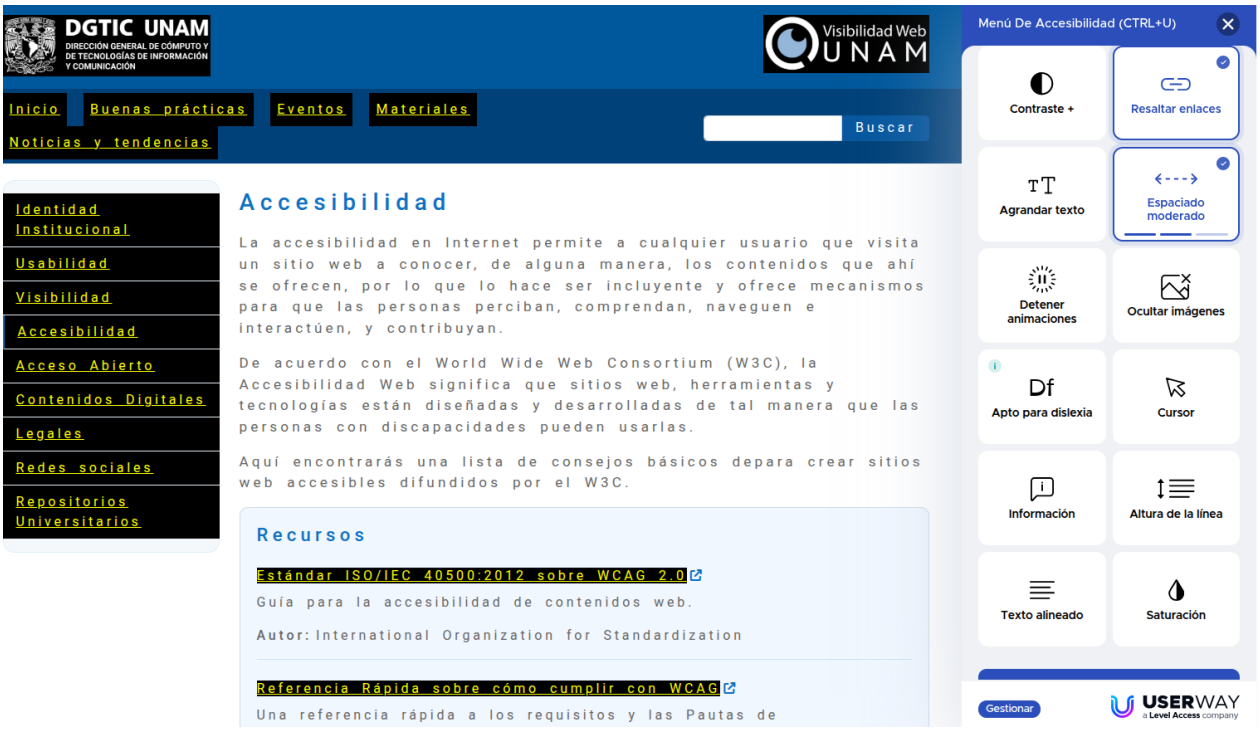
En el contexto de la universidad y debido a la amplia variedad de tecnologías, lenguajes de programación y marcos de desarrollo (*framework*) utilizados para la creación de páginas y sistemas web en las diferentes dependencias de la UNAM, resulta complejo implementar una solución única de accesibilidad. No obstante, una estrategia eficaz y tecnológicamente agnóstica para coadyuvar en la implementación de acciones y medidas de accesibilidad en los sitios web consiste en la incorporación de herramientas digitales, comúnmente denominadas *widgets*, las cuales permiten implementar de manera automatizada ciertas funcionalidades orientadas a mejorar la experiencia de navegación para personas con discapacidad.

La Figura 1 muestra que este tipo de soluciones ya son utilizadas en la universidad, en específico, la solución de la empresa UserWay, que tiene costos que inician desde los 490 euros para sitios pequeños, 1490 euros para sitios medianos y costos personalizables para sistemas más grandes (https://userway.org/es/precios/?tab=widgetdeaccesibilidad).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 114 - 128

Figura 1

Herramienta de accesibilidad UserWay



Nota. Ejemplo de página web institucional complementada por el widget de accesibilidad desarrollado por UserWay. Tomado de: https://www.visibilidadweb.unam.mx/buenas-practicas/accesibilidad

Para validar la necesidad de una solución propia, se realizó un análisis del estado de la cuestión de las herramientas de accesibilidad web disponibles en el mercado. Soluciones comerciales, como AudioEye y EqualWeb, ofrecen *widgets* robustos, basados en inteligencia artificial, que automatizan la corrección de errores y garantizan el cumplimiento de normativas como la ADA y la WCAG, pero operan bajo un modelo de suscripción mensual que puede superar los 49 dólares para sitios pequeños y aumentar considerablemente según el tráfico y el tamaño de la página (AudioEye, 2025; EqualWeb, 2025). Otras plataformas, como Accessiblyapp, ofrecen planes más asequibles, desde 20 dólares al mes, pero con funcionalidades avanzadas, como la personalización de la marca y el uso de IA para etiquetas alt, reservadas para los niveles de pago superiores (Accessiblyapp, 2025).

Por otro lado, existen alternativas de código abierto como Sienna Accessibility Widget, que se distribuye gratuitamente bajo una licencia MIT y se enfoca en la simplicidad de instalación (Sienna Accessibility, s.f.). Sin embargo, estas soluciones suelen depender del soporte de la comunidad, lo que puede no ser ideal para un entorno institucional que requiere garantías de mantenimiento y una adaptación específica a sus políticas. Tras este análisis, se concluyó que el desarrollo de una herramienta propia, de código abierto y respaldada institucionalmente, representaba la estrategia más sostenible, ya que ofrece control total sobre el código, elimina los costos de licenciamiento recurrentes y permite una personalización alineada con las necesidades específicas de la UNAM.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 115 - 128

Por lo tanto, en este reporte técnico, se tuvo como objetivo describir el proceso de diseño, desarrollo e implementación de un *widget* orientado a mejorar la accesibilidad en entornos web, así como su integración en diversos sitios y plataformas institucionales, independientemente del lenguaje de programación, marco de desarrollo o herramientas utilizadas en su construcción.

2. DESARROLLO TÉCNICO

La metodología que se utilizó para la elaboración de esta herramienta se basó en el ciclo de vida del software mencionado por Sommerville (2016), expuesto en la Figura 2, para la obtención de una primera versión de la herramienta.

Figura 2

Metodología del Ciclo de vida del software

Nota. Metodología del ciclo tomada de Sommerville, I. (2016). Software Engineering (10.ª ed.). Pearson

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 116 - 128

De este modo, se pudo priorizar la creación de un producto inicial que contuviera las funcionalidades esenciales y así poder validar si la solución pudiera contribuir y satisfacer las necesidades de accesibilidad en un entorno real, a la vez que facilitara la retroalimentación de los usuarios finales.

2.1 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

Con base en el objetivo previamente definido, se realizó el análisis y definición de requisitos del *widget*, donde se adoptaron las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG 2.1) establecidas por el *World Wide Web Consortium* (W3C).

Figura 3

Relación de funcionalidad web vs discapacidades

FUNCIONALIDAD WEB	DISCAPACIDAD	BENEFICIO	DESCRIPCIÓN
CONTRASTE	Visual (baja visión, daltonismo), cognitiva	Legibilidad	Facilita la lectura y hace distinción entre texto y fondo
RESALTADO DE ENLACES	Visual, cognitiva	Navegación clara	Identificación de hipervínculos
TAMAÑO DE TEXTO	Visual (baja visión), motriz	Adoptabilidad	Ajusta el tamaño del texto y mantiene la funcionalidad.
VISIBILIDAD DE IMÁGENES	Visual (ceguera), cognitiva	Acceso a contenido	Texto alternativo y descripciones
ESPACIADO DE TEXTO	Visual, dislexia, cognitiva	Comprensión	Reducción de fatiga visual.
ALINEACIÓN DE TEXTO	Dislexia, visual	Enfoque visual	Facilita el rastreo visual
MÁSCARA DE LECTURA	Dislexia, Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), visual	Enfoque visual y concentración	Reducción de carga visual.

La Figura 3 describe estas directrices e incluye la mayoría de las funcionalidades implementadas en soluciones comerciales.

2.2 DISEÑO DEL SISTEMA Y SOFTWARE

También se consideró la implementación de un diseño responsivo para garantizar la compatibilidad con dispositivos móviles con base en el enfoque *Mobile First* (ver Figura 4) (Roth, R. E., at al., 2024).

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 117 - 128

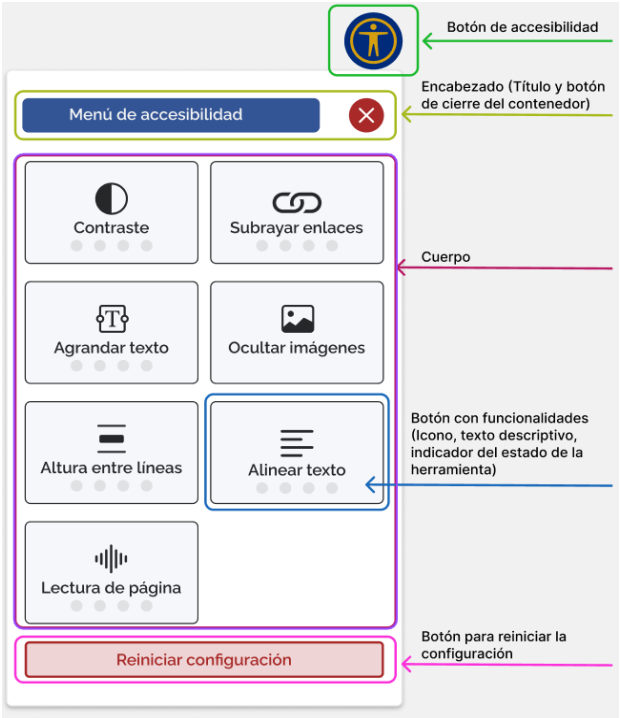
Figura 4

Enfoque de diseño basado primero en móviles y después adaptado a pantallas de mayor tamaño

El maquetado de la interfaz se realizó en Figma con un boceto preliminar que contenía la estructura base, la cual se puede observar en la Figura 5.

Figura 5

Interfaz de usuario diseñada en Figma



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 118 - 128

Para esta primera iteración del diseño, se priorizó un enfoque de minimalismo funcional (Youvan, D. C., 2024) y usabilidad básica (Beaird, J., Walker, A., & George, J. 202). Se buscó realizar un producto funcional, en un tiempo corto de producción, que fuera entendible y fácil de utilizar. Se definió el contenedor de la herramienta con un ancho de 350 pixeles como valor máximo, por lo que no se necesitaron cambios superiores para su adaptación a dispositivos móviles. En el caso de los íconos, se utilizó inicialmente el *plugin* de Bootstrap Icons que se encuentra disponible en Figma.

Además de los íconos, se puede observar debajo del título de cada funcionalidad el indicador de estado. Por defecto, se decidió que tenga un color distinto el primer círculo, el cual cambiará al siguiente cuando se interactúe sobre él; de este modo, se puede saber en qué estado se encuentra la funcionalidad y cuántas variantes tiene.

2.3 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

La implementación se dividió en 3 partes medulares: la creación de funcionalidades, el desarrollo de la interfaz de usuario y las pruebas.

2.3.1 CREACIÓN DE FUNCIONALIDADES

En la primera etapa, Desarrollo de funcionalidades, se implementó la lógica necesaria para cumplir con los requisitos establecidos. Al ser una herramienta destinada a entornos web, se optó por el uso de JavaScript (JS) como lenguaje de programación base. Como punto importante a destacar, debido a la necesidad de mantener un control total sobre el código fuente, se decidió evitar el uso de componentes externos, librerías y *frameworks* de terceros. Como resultado, no sólo se tuvo una reducción en la dependencia de tecnologías externas, sino también se logró que el *widget* desarrollado tuviera una reducción significativa de tamaño, lo que representa una ventaja sustancial para su integración.

El código JS se estructuró en tres partes principales para facilitar su organización y mantenimiento:

- Funciones con propósitos específicos: Cada una de estas funciones maneja una funcionalidad específica de la herramienta (como el contraste o el tamaño del texto), o son funciones utilitarias que apoyan la lógica, por ejemplo, al cambiar entre las variantes de una funcionalidad.
- Diccionario principal: Ésta es la estructura base de la herramienta, donde se definieron datos clave como el nombre de cada funcionalidad, la función a la que corresponde y las variantes que posee.
- Función principal: Se encarga de iniciar la lógica y manejar el llamado a las demás funciones en el orden establecido para el correcto funcionamiento del *widget*.

En esta etapa, se optó por seguir un desarrollo rápido, enfocado en lograr crear cada una de las funcionalidades básicas descritas en la parte de la definición de requerimientos; de este modo, se consiguió reducir la cantidad de tiempo ocupada para la creación de la primera versión de la herramienta, es decir, se pasó de un tiempo estimado de dos meses a un mes, tomando en consideración que el tiempo no fue asignado exclusivamente a esta actividad. Por lo anterior, aunque la calidad del código y su estructura son importantes, al menos en esta etapa, se decidió que fueran secundarias para realizar una refactorización y optimización del código en una etapa posterior.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 119 - 128

2.3.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Para elaborar la interfaz, se utilizó Tailwind CSS con su enfoque *utility-first*; todas las clases generadas se agregaron directamente en el archivo JS, lo que influyó en el tamaño final del archivo. Debido a esto, se decidió hacer el cambio de enfoque y se utilizó un archivo *Cascading Style Sheets* (CSS) para juntar en un solo lado todos los estilos visuales. Además, se tomó en consideración que no todos los usuarios que implementarían el herramienta en sus sistemas sabrían cómo trabajan los estilos CSS, por lo que podría haber una confrontación de estilos, por ejemplo, entre las clases mt-4 de Bootstrap y Tailwind CSS, sólo por mencionar un caso en específico. En consecuencia, se decidió continuar con el uso de Tailwind CSS, pero haciendo uso de la directiva @apply en clases personalizadas del archivo CSS; de este modo, se mantuvieron los beneficios de este marco de trabajo de CSS y se evitaron posibles inconsistencias.

2.3.3 PRUEBAS VISUALES

La primera parte de las pruebas corresponde a las visuales, éstas están relacionadas principalmente con el diseño de la interfaz de usuario. Para revisar esta parte, se utilizó la herramienta DevTools del navegador, específicamente en la sección de *Toggle Device Toolbar*, con el propósito de evaluar la adaptabilidad en distintos dispositivos móviles. A través de estas pruebas, se identificaron y corrigieron errores en la visualización de los elementos y se mejoró la estructura del *widget*.

Las pruebas de humo (manual) se realizaron tomando como base las funcionalidades con las que cuenta la herramienta y su interacción. La Figura 6 muestra todas las pruebas realizadas a cada una de las funcionalidades. Hasta el momento, la única herramienta que no cuenta con una variante de uso es la de máscara de lectura, aunque será agregada en una iteración posterior.

Figura 6

Evaluación de funcionalidades implementadas

FUNCIONALIDAD	CARGA SIN ERRORES	SE PUEDE ACTIVAR	CAMBIO ENTRE OPCIONES	FUNCIONA JUNTO A OTRAS	PERSISTE EN EL NAVEGADOR
CONTRASTE	✓	✓	✓	✓	✓
RESALTADO DE ENLACES	✓	✓	✓	✓	✓
TAMAÑO DE TEXTO	✓	✓	✓	✓	✓
VISIBILIDAD DE IMÁGENES	✓	✓	✓	✓	✓
ESPACIADO DE TEXTO	✓	✓	✓	✓	✓
ALINEACIÓN DE TEXTO	✓	✓	✓	✓	✓
MÁSCARA DE LECTURA	✓	✓	Aún no	✓	✓

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 120 - 128

Finalmente, se revisaron los siguientes puntos:

- Se verificó que las funciones se activaran inmediatamente.
- Se verificó que la variante de la función trabajara adecuadamente.
- Se comprobó que el teclado funcionara para navegar por la herramienta
- Se validó el correcto funcionamiento de los botones para reiniciar las funcionalidades, así como la interacción del botón principal para mostrar u ocultar el *widget*.
- Se verificó que el botón de accesibilidad se pudiera mover de lugar dependiendo de su configuración en el *script*.
- Se confirmó que la herramienta no generara errores en la consola del navegador.

2.3.4 INTEGRACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

Como resultado de las etapas previamente descritas, se obtuvo la primera versión del *widget*. Éste se conforma de dos archivos: un .js, que contiene la lógica, y un .css, que define los estilos asociados. Para su integración en un entorno web, el .css debe ser agregado dentro de la etiqueta HTML <head> y el archivo .js antes de finalizar la etiqueta <body>, véase la Figura 7 para más detalles.

Figura 7

Integración del archivo .css y .js dentro de la estructura HTML

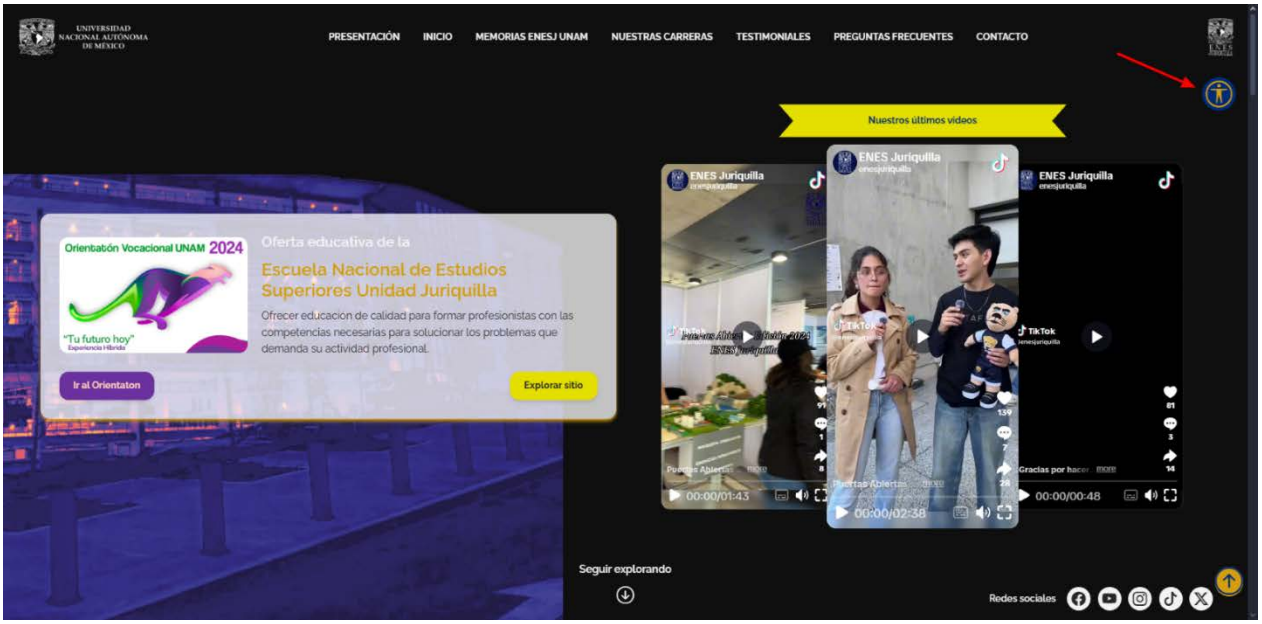
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 121 - 128

Hasta este punto, las pruebas que se hicieron fueron en ambientes controlados con elementos por defecto, es decir, en páginas web sencillas con elementos HTML estándar como <img>, <a>, <p>, <body>, entre otros. En estos escenarios, los resultados fueron satisfactorios ya que la solución se integró de manera adecuada.

La integración en un ambiente productivo se redujo a cargar en la carpeta *static* de uno de nuestros sitios web los archivos de la herramienta, y se mandaron a llamar dentro del elemento HTML principal con una etiqueta <link> y <script>, donde cada uno contenía la ruta relativa respectiva del archivo. El siguiente paso fue actualizar el contenido del sitio web y comenzar a interactuar para validar las funcionalidades (ver Figura 8).

Figura 8

Micrositio divulgación ENES Juriquilla – Botón de la herramienta de accesibilidad



Nota. En la figura, se observa la implementación de la herramienta en uno de los sitios web de la ENES Juriquilla, por lo que la incrustación fue satisfactoria debido a que se integró correctamente en el sitio sin realizar alguna otra acción. Fuente:https://divulgacion.enesjuriquilla.unam.mx

Al dar clic sobre el botón de accesibilidad, se despliega la herramienta (ver Figura 9). Las pruebas realizadas fueron las mismas descritas en el apartado

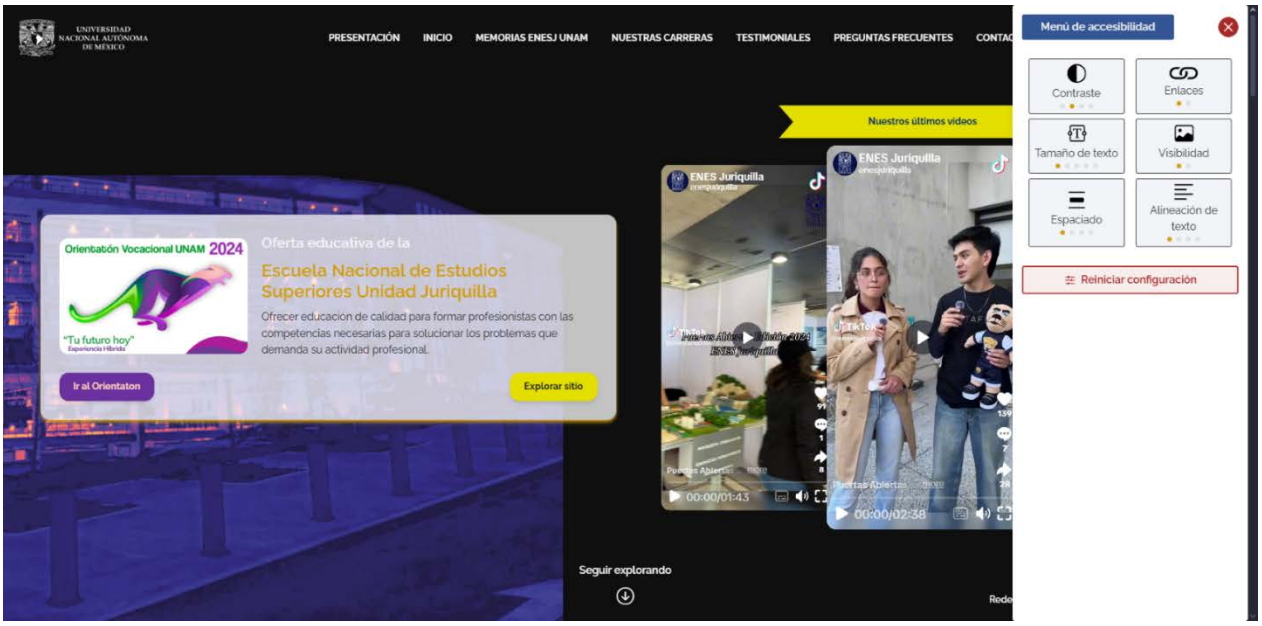
2.3.5 PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD

En la Figura 9, se observan las funcionalidades integradas en esta primera versión del *widget*.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 122 - 128

Figura 9

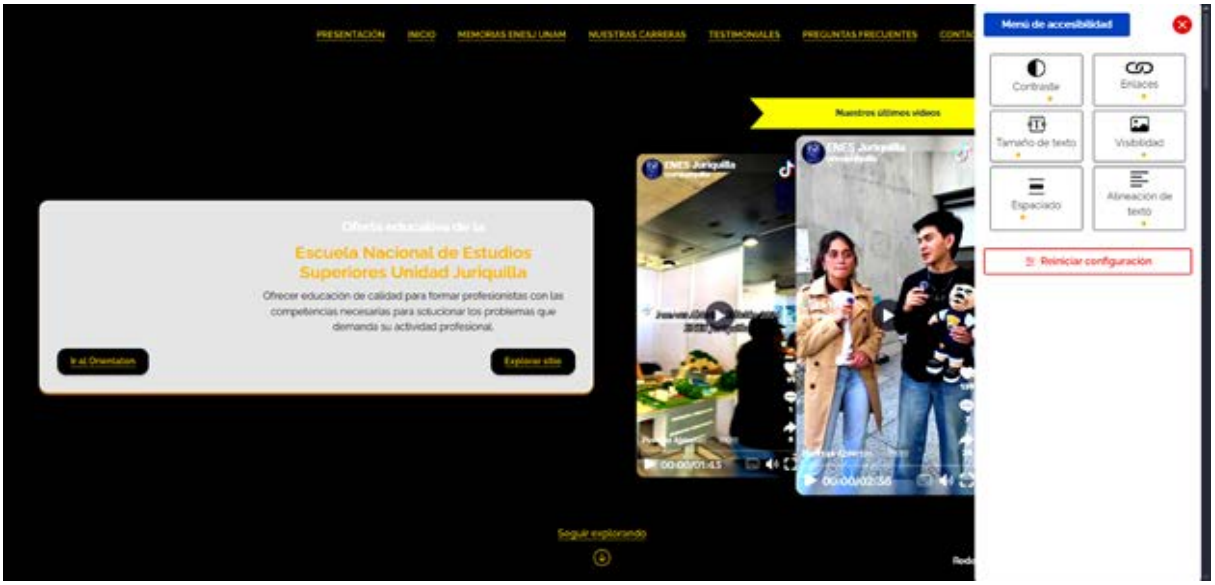
Micrositio divulgación ENES Juriquilla – herramienta de accesibilidad abierta



Al activar alguna de las opciones, se genera un cambio visible en la vista del entorno web, como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10

Micrositio divulgación ENES Juriquilla – Utilización de la herramienta de accesibilidad



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 123 - 128

En la figura anterior, se puede observar la herramienta integrada y en funcionamiento. En este caso, como ejemplo, se habilitó la opción de contraste, haciendo que la página web visible se vea con tonos fuertes, se resaltaron los enlaces, se ocultaron las imágenes y se alineó al centro el texto. Visualmente, en el contenedor de funcionalidades, se puede observar que la opción utilizada está marcada de un color distintivo. Para reiniciar las opciones, existen dos maneras: la primera es dar clic a cada funcionalidad hasta llegar a la opción por defecto y la segunda es dar clic en el botón reiniciar configuración para que todas las funcionalidades regresen a su opción base.

2.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Una vez probada la herramienta en un sitio web institucional, se decidió liberar esa versión del *widget* en los demás entornos web de la dependencia, todo con el propósito de encontrar errores y revisar que las funcionalidades trabajen adecuadamente en diferentes navegadores y junto a las diferentes tecnologías con las que hayan sido desarrolladas.

Como parte de la mejora continua, tras el despliegue y operación, se inició la optimización de la herramienta. El código JS inicial tuvo un total de 430 líneas de código, mientras que el archivo CSS tuvo 227 líneas de código. Si bien las líneas de código (*Lines of Code*, o LOC por sus siglas en inglés) son una métrica común para medir el tamaño de un programa, no reflejan necesariamente su calidad o eficiencia. En el contexto del desarrollo de *software*, un código conciso y refactorizado, a menudo, es más valioso que uno extenso. En este caso específico, el tamaño inicial del código resultante se consideró como un punto de partida para evaluar el impacto de las mejoras futuras.

Posteriormente, se tomaron las funcionalidades y se reestructuró el código para hacerlo más adaptable al momento de agregar nuevas funciones. Este proceso, conocido en la ingeniería de software como refactorización, se enfocó en la separación de responsabilidades, la eliminación de redundancias y la mejora de la legibilidad, manteniendo siempre el comportamiento funcional del *widget*. El objetivo fue, como sugiere Martin Fowler (2018), mejorar la estructura interna del software sin alterar su comportamiento externo. Como resultado, el archivo JS se redujo significativamente de 31 a 25 kilobytes; por su parte, el archivo CSS se redujo mínimamente de 8 a 7 kilobytes, lo que demostró la eficiencia del proceso de optimización.

Como última etapa de la refactorización del código, se optó por emplear *Google Closure Compiler* como herramienta de compilación y minificación de código JS. De acuerdo con Antal et al. (2024), en su estudio comparativo de herramientas utilizadas en *call graph*, sólo *Google Closure Compiler* y TAJS fueron capaces de analizar correctamente JavaScript moderno en múltiples archivos. Esto representa una ventaja en el contexto de este trabajo, ya que, en futuras actualizaciones, la herramienta seguirá siendo funcional.

A pesar de las bondades que ofrece la herramienta *Google Closure Compiler*, se debe tener especial cuidado al momento de minificar, pues *Closure* tiene 2 opciones principales y, según se elija entre *SIMPLE_OPTIMIZATIONS* o *ADVANCED_OPTIMIZATIONS,* el resultado de la minificación puede ser o más simple o más extremo Para el caso del archivo JS, cuando se utilizó *ADVANCED_OPTIMIZATIONS,* esto provocó una serie de errores, por lo que se decidió utilizar *SIMPLE_OPTIMIZATIONS*. La diferencia en el tamaño del archivo JS resultante no varió demasiado, se mantuvo en 9 kilobytes estables; sin embargo, para reducir ligeramente el tamaño del archivo, se utilizó un *plugin* de Visual Studio Code llamado MinifyAll, el cual redujo el tamaño del archivo a 8 kilobytes, lo que se consideró adecuado como tamaño final.

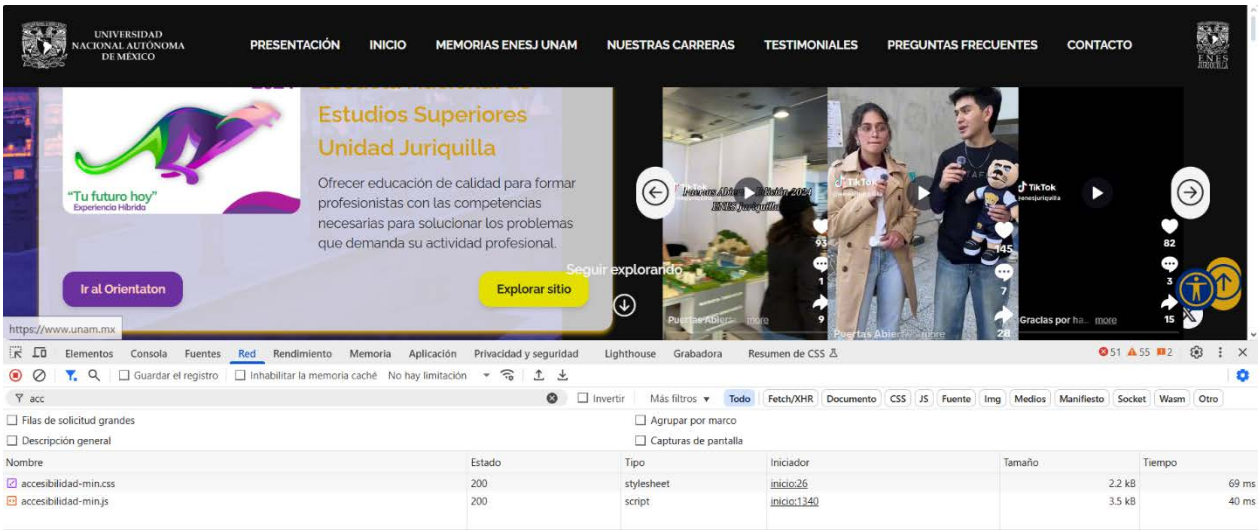
https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 124 - 128

3. RESULTADOS

La solución se presenta en archivos CSS y JS minificados que pueden ser añadidos en cualquier entorno web que permita insertar etiquetas <link> y <script>. El peso total del *widget* de accesibilidad fue de aproximadamente 15 kilobytes. Al hacer la revisión del rendimiento en DevTools, se observó que, si la herramienta es servida mediante un servidor Apache, el tamaño total llega a bajar hasta los 5.7 kilobytes con un tiempo de carga de apenas 109ms; esto se debe a la tecnología de compresión Gzip, función adicional de Apache. Lo anterior se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Función adicional de Apache, Gzip



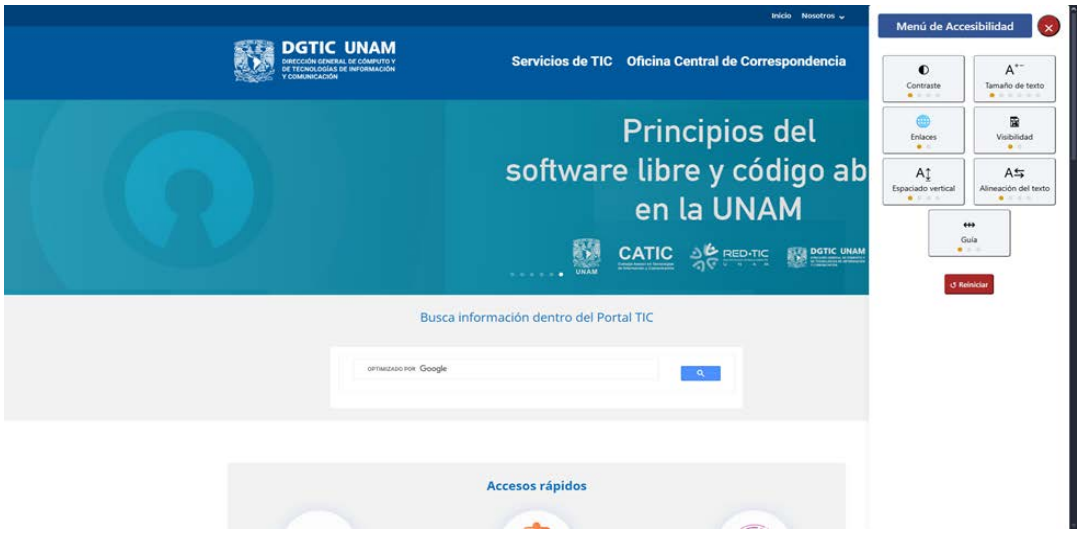
Cada kilobyte de un sitio web debe ser descargado por el navegador del usuario, por lo que un menor peso total de la página se traduce directamente en un menor tiempo de carga. Mientras que el tamaño promedio de una página web en 2025 supera los 2 megabytes (más de 2,000 kilobytes), una herramienta que pesa menos de 15 kilobytes representa una carga adicional mínima, lo que asegura que su implementación no degrade el rendimiento del sitio (HTTP Archive, 2025). Teniendo esto presente, se puede considerar a ésta como una herramienta ligera que cuenta con las funcionalidades más comunes en el mercado. Hasta este momento, no se ha pensado en recabar datos estadísticos, ya que se entra en un tema donde se tendrían que definir los términos de privacidad sobre la recopilación de información y donde también habría que cambiar ciertas partes de la lógica de la herramienta.

Finalmente, para demostrar su utilidad, se decidió insertar el código generado en una página de la DGTIC UNAM. En la Figura 12, se puede observar que se ha integrado bastante bien a pesar de que se desconoce la forma en la que está estructurada la página, la forma de manejar los estilos CSS y hasta las tecnologías que se utilizaron para la creación del sitio.

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 125 - 128

Figura 12

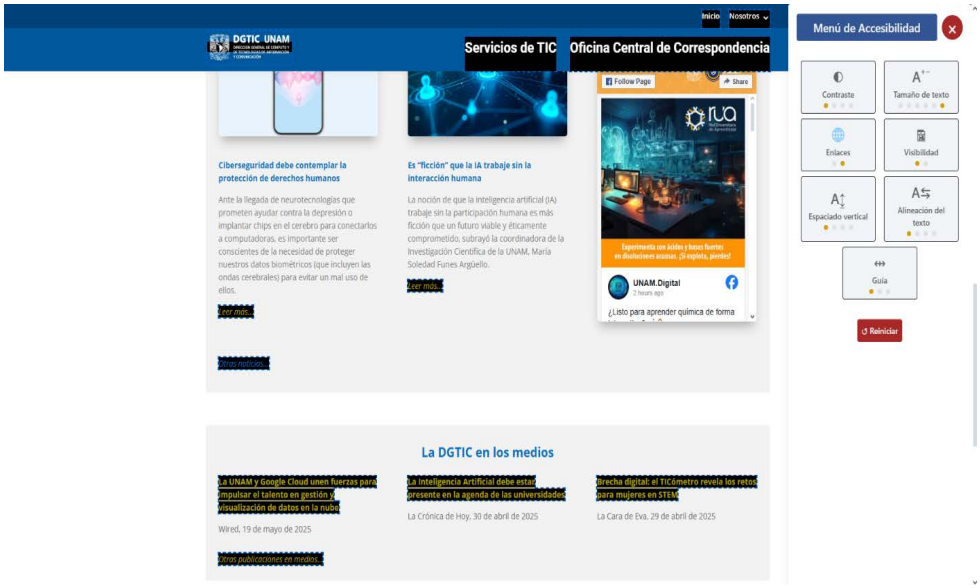
Integración de la herramienta de accesibilidad al sitio institucional DGTIC UNAM



En la integración que se realizó al sitio de la DGTIC, se comprobó que las funcionalidades de la solución trabajan adecuadamente y, a simple vista, no existe una gran diferencia de la que ofrecería una solución comercial. A continuación, se presentan las figuras 13, 14 y 15, en donde se puede observar el funcionamiento de la herramienta.

Figura 13

Herramienta de accesibilidad - activación de la funcionalidad: tamaño de texto y enlaces en el sitio de la DGTIC



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 126 - 128

Figura 14

Herramienta de accesibilidad - activación de la funcionalidad: contraste, tamaño de texto, enlaces, visibilidad de imágenes, espaciado vertical y alineación del texto en el sitio web de la DGTIC

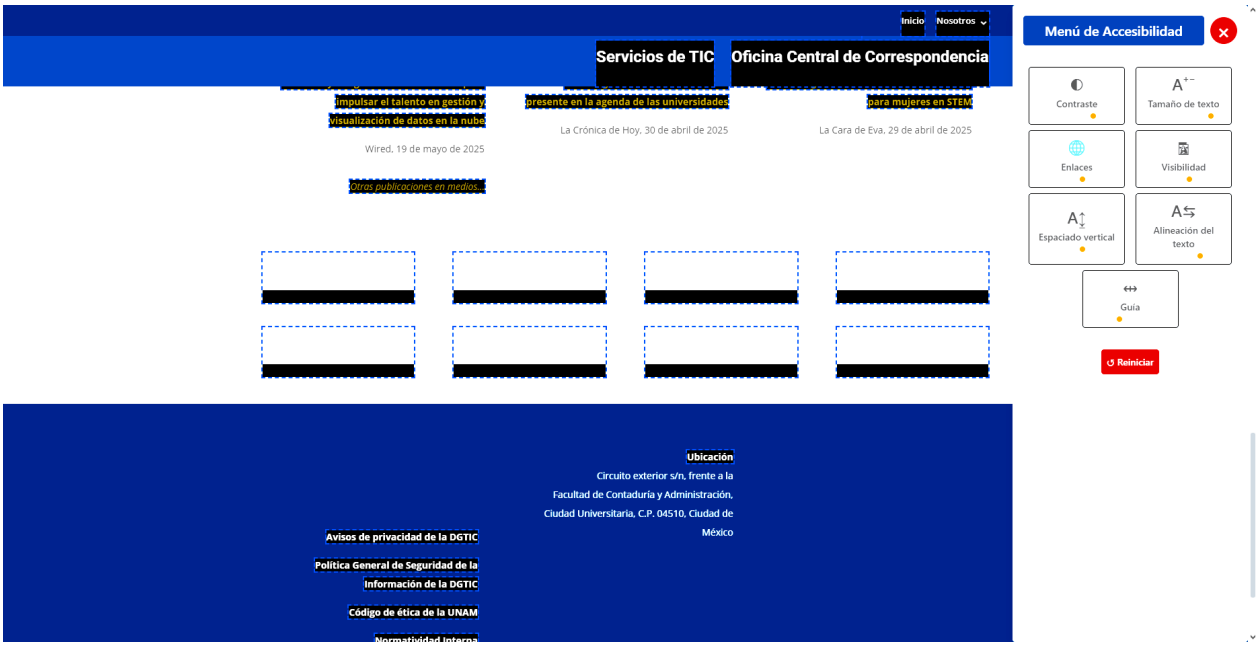
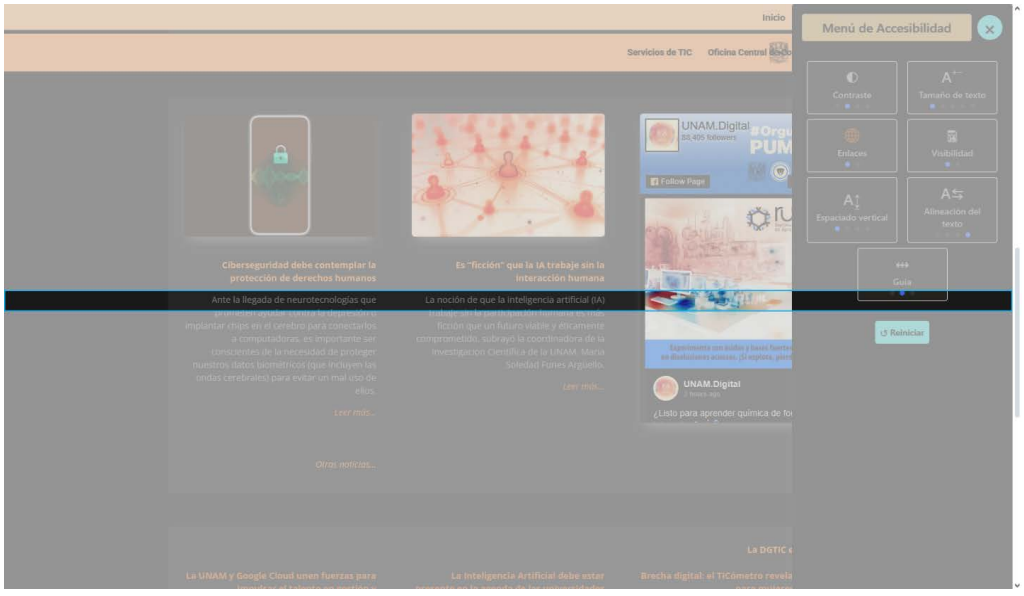


Figura 15

Herramienta de accesibilidad - activación de la funcionalidad: contraste, alineación del texto y guía – máscara de lectura en el sitio web de la DGTIC



https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 127 - 128

Si bien la solución generada en la dependencia aún no cuenta con ciertas características que destacan en herramientas de accesibilidad comerciales como *UserWay*, misma que posee características adicionales como espaciado entre letras, apto para dislexia, cambiar tipo de cursor, saturación, lector, etc., aún con lo anterior, se tiene un acercamiento inicial a las funcionalidades más usadas y, a futuro, se podrían tomar en consideración para ser agregadas en una posterior iteración.

4. CONCLUSIONES

El proyecto logró el diseño, desarrollo y la implementación exitosa de una herramienta web de accesibilidad pensada inicialmente para su uso a nivel institucional. El producto resultante cumplió las expectativas iniciales al demostrar su viabilidad como una alternativa a las soluciones comerciales, lo que lo convierte en un punto de apoyo valioso para aquellas plataformas y sitios web institucionales que buscan mejorar la experiencia de usuario. Cabe aclarar que este apoyo se centra en la capa de presentación que manipula el usuario y que la herramienta no está diseñada para modificar aspectos de fondo como el SEO o el rendimiento del sitio, los cuales requieren intervenciones a nivel de código.

A través del proceso descrito, se pudo observar que el uso de metodologías de desarrollo como la cascada también permite obtener resultados funcionales y optimizados en un tiempo reducido.

Como parte de la mejora continua, se han identificado las siguientes áreas de oportunidad para futuras iteraciones de la herramienta:

- Implementación de un lector de pantalla nativo, lo que requiere una evaluación de la compatibilidad en los diferentes navegadores web.
- Mejoras en el rendimiento visual, en especial con la funcionalidad “alinear texto” y “máscara de lectura”.
- Mejoras en la experiencia de usuario, como el reinicio del indicador de estado a su valor predeterminado.
- Implementación de las funcionalidades guía de lectura, espaciado entre letras y tipo de texto para personas con dislexia.

Es necesario dar mantenimiento a esta herramienta a la vez que se revisan los temas de mejora continua; de esta manera, se demuestra el compromiso del uso y aprovechamiento de las TIC en la UNAM y su aplicación en temas de accesibilidad.

REFERENCIAS

Accessiblyapp. (2025). *Leading Accessibility Widget for ADA & WCAG Compliance*. Accessibly. https://accessiblyapp.com/

AudioEye. (2025). *Plans & Pricing*. AudioEye®. https://www.audioeye.com/plans-and-pricing/

Beaird, J., Walker, A., & George, J. (2020). *The principles of beautiful web design*. SitePoint Pty Ltd.

Congreso de la Unión. (2024). *Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad*, artículo 32. *Diario Oficial de la Federación*, 14 de junio de 2024. Recuperado el 9 de junio de 2025, de https://

https://doi.org/10.22201/dgtic.30618096e.2025.3.4.136 **Vol. 3, Núm. 4.** octubre-diciembre 2025, págs. 128 - 128

www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf

EqualWeb. (2025). *Affordable web accessibility solutions pricing*. EqualWeb. https://www.equalweb.com/10842/8592/pricing

Fowler, M., & Beck, K. (2018). *Refactoring: Improving the Design of Existing Code* (2.ª ed.). Addison-Wesley Professional.

HTTP Archive. (2025). *State of the Web - Page Weight*. HTTP Archive. https://httparchive.org/reports/page-weight

Moguel Pedraza, F. I. (2024). Recomendaciones técnicas para implementar y asegurar la accesibilidad web en los sitios institucionales. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC*, 2 (2). https://doi.org/10.22201/dgtic.ctud.2024.2.2.50

Raymond, M. A., Smith, H., Carlson, L., & Gupta, A. (2024). An Examination of Digital Accessibility Within Social Media Platforms: Problems for Vulnerable Consumers and Policy Implications. *Journal of Advertising Research*, 64(4), 430–450. https://doi.org/10.2501/JAR-2024-026

Roth, R. E., Çöltekin, A., Delazari, L., Denney, B., Mendonça, A., Ricker, B. A., Wu, M. (2024). Making maps & visualizations for mobile devices: A research agenda for mobile-first and responsive cartographic design. Journal of Location Based Services, 18(4), 408–478. https://doi.org/10.1080/17489725.2023.2251423

Sienna Accessibility. (s.f.). *Sienna Accessibility Widget*. Sienna Accessibility. https://accessibility-widget.pages.dev/

Sommerville, I. (2016). *Software Engineering* (10.ª ed.). Pearson.

W3C. (2023). *Introduction to Web Accessibility*. Web Accessibility Initiative (WAI). https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/

World Wide Web Consortium. (2018). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. W3C. Recuperado el 6 de marzo de 2025, de https://www.w3.org/TR/WCAG21/

Youvan, D. C. (2024). The Essence of Less: Exploring Abstract and Minimalist Concepts Across Art, *Design, Technology, and Philosophy*.

CUADERNOS TÉCNICOS UNIVERSITARIOS DE LA DGTIC

ISSN-e: 3061-8096

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN